МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему: **«ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ РЕКОНСТРУКЦІЇ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ»**

Виконав: студент 4 курсу, група 6.1921-мім спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі»
ВЕДМЕДОВСЬКИЙ ІВАН ГРИГОРОВИЧ

Керівник: доцент кафедри міського будівництва і архітектури, канд. техн. наук О. Г. Добровольська

Рецензент: професор кафедри промислового та цивільного будівництва, докт. техн. наук В.А. Банах

Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма міські інженерні мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
«26» 12 20 24 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ведмедовському Івану Григоровичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Застосування інноваційних методів реконструкції інженерних мереж
2. Строк подання роботи: *15.06.2025*
затверджено наказом ЗНУ від «26» грудня 2024 року № 2028-с
3. Вихідні дані до роботи: *схема мережі транспортування води, характеристики житлової забудови та підприємств (додаток 1 до завдання)*
4. *Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1. Аналіз стану мереж транспортування води.1.1 Види витоків на мережах транспортування води. 1.2 Аналіз витоків через протікання через стики та стіни трубопроводів. 1.3 Аналіз витоків через невиявлені свищі. 1.4 Аналіз витоків через ущільнення при неполадках арматури. 2. Сучасні методи реконструкції мереж 2.1 Спосіб «труба в трубі». 2.2 Застосування полімерно-композитних оболонок, армованих волокном. 2.3 Нанесення цементно-піщаного шару. 2.4 Спосіб «панчішної» технології 2.5 Застосування U-подібного трубопроводу. 3. Вплив зміни пропускної здатності ділянок на розподіл тиску в мережах водопостачання. 3.1 Вихідні розрахункові схеми мережі. 3.2 Аналіз гідравлічних режимів мережі з урахуванням зміни пропускної здатності ділянок. 3.3 Розрахунок вузлових та шляхових витрат. 3.4 Результати гідравлічного розрахунку. 3.5 Аналіз п'єзометричних карт та розробка рекомендацій щодо підвищення надійності мережі. Висновки. Список використаної літератури. Додатки.*
5. *Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Діаграма витоків через стики та стіни трубопроводів 2. Діаграма витоків через невиявлені свищі 3. Діаграма витоків через ущільнення при несправностях арматури 4,5 Принципові схеми сучасних методів безтраншейної реконструкції трубопроводів 6. П'єзометричні карти для режиму максимального водоспоживання для мережі з нових та ненових*

сталевих труб. 7 Схема мережі та п'єзометричні лінії для режиму максимального водопостачання.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Добровольська О.Г.,к.т.н., доцент		
2	Добровольська О.Г.,к.т.н., доцент		
3	Добровольська О.Г.,к.т.н., доцент		
4	Добровольська О.Г.,к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 01.04.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Виконання	Пр
1	Розділ 1. Аналіз стану мереж транспортування води.	20.04.25	
2	Листи 1-3.	15.05.25	
3	Розділ 2. Сучасні методи реконструкції мереж.	20.05.25	
4	Листи 4,5.	27.05.25	
5	Розділ 3. Вплив зміни пропускної здатності ділянок на розподіл тиску в мережах водопостачання.	31.05.25	
6	Листи 6-7.	06.06.25	
7	Презентація підготовка доповіді.	10.06.25	
8	Попередній захист	15.06.25	

Студент _____ І.Г Ведмедовський
(підпис) (ініціали та прізвище)

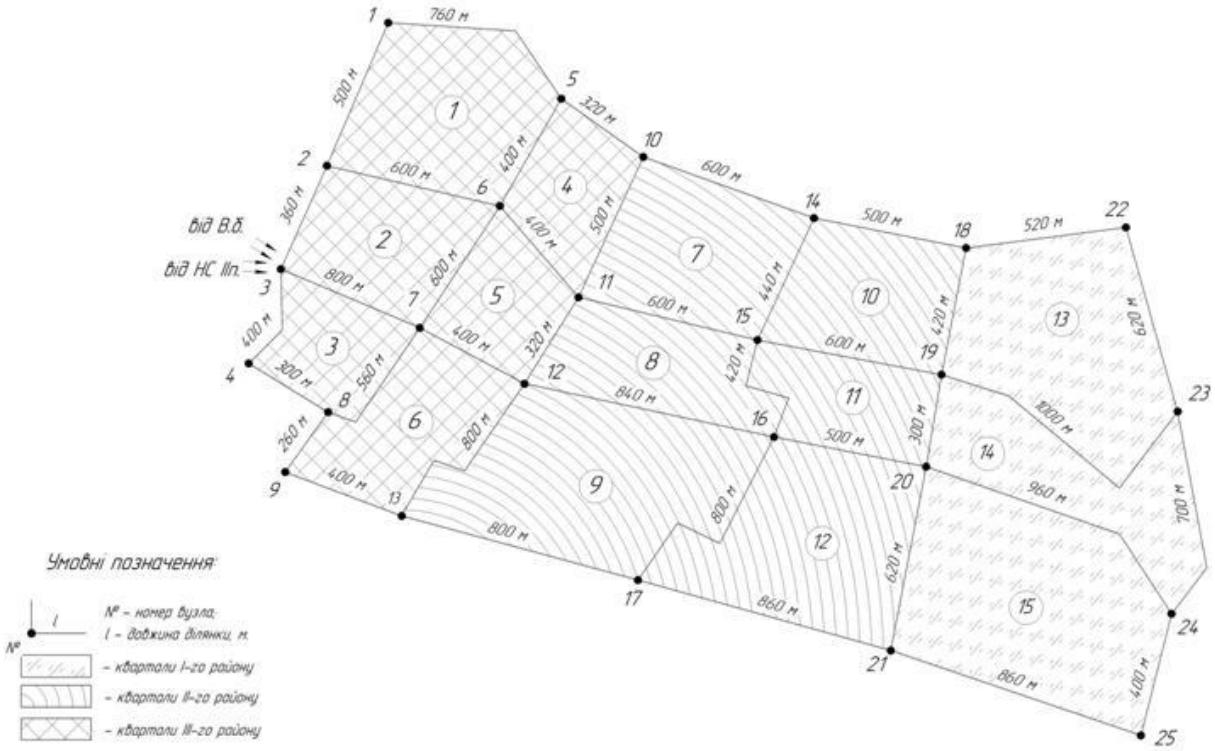
Керівник роботи _____ О.Г. Добровольська
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ О.В. Гребенюк
(підпис) (ініціали та прізвище)

Додаток 1

Схема вихідної мережі



№ району	Забудова, кіл-ть поверхів	Щільність населення, люд./га	Площа, га	Кількість мешканців, люд.
I	9	260	119,7	31122
II	9	480	174,1	83568
III	7	320	122,03	39050

Продуктивність інженерної мережі транспортування води 77000 м^3/добу

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 73 сторінки, 7 рисунків, 9 таблиць, 29 джерел.

У даній роботі розглянуто проблеми експлуатації існуючих мереж транспортування води, проаналізовано причини виникнення витоків та запропоновано інноваційні методи їх реконструкції.

В основній частині роботи проведено аналіз стану інженерних мереж, класифіковано основні види витоків, зокрема через стики, стіни трубопроводів, невиявлені свищі та несправності арматури, та розглянуто сучасні безтраншейні методи реконструкції.

Виконано гідравлічний розрахунок мережі транспортування води для двох сценаріїв: для нових та для зношених трубопроводів. Проведено аналіз зміни пропускної здатності та падіння тиску в мережі внаслідок її тривалої експлуатації.

На основі аналізу розроблено рекомендації щодо підвищення надійності мережі, що включають пріоритетну реконструкцію найбільш зношених ділянок із застосуванням сучасних безтраншейних технологій для відновлення проектних гідравлічних характеристик.

ІНЖЕНЕРНІ МЕРЕЖІ, РЕКОНСТРУКЦІЯ, ВИТОКИ ВОДИ, ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ, БЕЗТРАНШЕЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, САНАЦІЯ

ЗМІСТ

Вступ……..7
1. АНАЛІЗ СТАНУ МЕРЕЖ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ……..9
1.1 Види витоків на мережах транспортування води……..……9
1.1.1 Класифікація та загальні причини виникнення витоків……..10
1.1.2. Методи виявлення та наслідки втрат води……...11
1.2 Аналіз витоків через протікання через стики та стіни трубопроводів..14
1.2.1. Причини виникнення фонових витоків: корозія та дефекти монтажу..16
1.2.2. Вплив зовнішніх навантажень та гідравлічних ударів……...18
1.2.3. Методи виявлення та шляхи зменшення протікань……....19
1.3 Аналіз витоків через невиявлені свищі……21
1.3.1. Причини утворення свищів та їх наслідки...…….…...…22
1.3.2. Інструментальні методи виявлення невиявлених свищів……...23
1.4 Аналіз витоків через ущільнення при неполадках арматури…….26
1.4.1. Класифікація, облік та методи виявлення витоків на арматурі……..29
1.4.2. Шляхи зменшення втрат через технічне обслуговування та заміну…..30
арматури
2. СУЧАСНІ МЕТОДИ РЕКОНСТРУКЦІЇ МЕРЕЖ……..32
2.1 Спосіб «труба в трубі»……...32
2.1.1. Технологія виконання робіт та контроль якості……..35
2.2 Застосуванням полімерно-композитних оболонок, армованих
волокном……38
2.2.1. Функція та види армуючих волокон……..……...38
2.2.2. Типи полімерних матриць та допоміжних компонентів……40
2.3 Нанесення цементно-піщаного шару……42
2.3.1. Принцип дії, склад розчину та галузь застосування……43
2.3.2. Технологія нанесення та контроль якості покриття……45
2.4 Спосіб «панчошної» технології……48
2.4.1. Технологія монтажу та полімеризації лайнера……49
2.5 Застосування U-подібного трубопроводу……50

2.5.1. Етапи монтажу U-подібного лайнера……...52
3. ВПЛИВ ЗМІНИ ПРОПУСКНІЇ ЗДАТНОСТІ ДІЛЯНОК НА РОЗПОДІЛ ТИСКУ В МЕРЕЖАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ……54
3.1 Вихідні розрахункові схеми мережі…….54
3.2 Аналіз гідравлічних режимів мережі з урахуванням зміни пропускної здатності ділянок……54
3.3 Розрахунок вузлових та шляхових витрат……...55
3.4 Результати гідравлічного розрахунку…….……..56
3.5 Аналіз п’єзометричних карт та розробка рекомендацій щодо підвищення надійності мережі……...56
ВИСНОВКИ……....58
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ……59
ДОДАТОК А……...63

ВСТУП

Актуальність роботи. Мережі транспортування води є основою комунальної інфраструктури України, однак більшість з них збудовано ще у 70–80-х роках минулого століття. Через зношеність матеріалів, корозію, неякісний монтаж і старіння арматури системи зазнають значних втрат води, зниження герметичності та появи невидимих витоків. Це негативно впливає на якість води та призводить до додаткових витрат на ремонт.

Зростання вимог до якості водопостачання потребує комплексного аналізу стану мереж, виявлення причин втрат і впровадження сучасних методів діагностики – акустичних, ультразвукових, термографічних тощо. Їх результати є основою для розробки програм модернізації інфраструктури з урахуванням технічних і економічних факторів.

Особлива увага приділяється безтраншейним технологіям санації трубопроводів. Водночас важливо враховувати зовнішні чинники, зокрема зміни клімату та вплив хімічних речовин, які прискорюють зношення. Комплексне дослідження дозволяє визначити пріоритети модернізації й забезпечити стабільну роботу водопровідних систем у майбутньому.

Мета роботи – системний аналіз дефектів мереж транспортування води в Україні, зокрема визначення причин витоків.

Задачі роботи. Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі конкретні задачі:

- проаналізувати стан інженерних мереж та класифікувати основні види витоків.
- розглянути та систематизувати сучасні інноваційні методи реконструкції трубопроводів.
- виконати гідравлічний розрахунок мережі для оцінки впливу її зносу на розподіл тиску та розробити рекомендації щодо підвищення її надійності.

Об'єкт дослідження – інженерні мережі транспортування води в Україні, їхній технічний стан та проблеми, що впливають на експлуатацію.

Предмет дослідження – дефекти мереж транспортування води, їх вплив на ефективність роботи мереж і розробку методичних підходів до їх виявлення та усунення.

Практичне значення отриманих результатів. Результати виконання кваліфікаційної роботи мають практичне значення для розробки стратегій модернізації мереж транспортування води в умовах відбудови зруйнованої інфраструктури.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ МЕРЕЖ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ

1.1 Види витоків на мережах транспортування води

Надійна робота системи водопостачання є основою стабільного водопостачання населених пунктів і промисловості. Однак суттєвою перешкодою для досягнення високої ефективності є проблема неконтрольованих втрат води через витоки на мережах транспортування води. Втрати, що сягають суттєвих обсягів, призводять до економічних збитків та свідчать про наявність технічних та експлуатаційних проблем в інфраструктурі.

Витоки виникають унаслідок технічних недоліків, старіння обладнання, неправильного монтажу, а також аварійних ситуацій, пов’язаних із зовнішніми факторами або людською помилкою. Зокрема, мережі транспортування води, які включають труби, арматуру, вузли розподілу та інші елементи, зазнають значних втрат води через зношення матеріалів, корозійні процеси, механічні пошкодження та інші несправності.

Ефективне усунення витоків води потребує комплексного підходу, який враховує як технічні можливості системи управління водними ресурсами, так і організаційні заходи. Одна з основних причин виникнення витоків є природне старіння інфраструктури, що для всіх міст України є великою проблемою через значну частку зношених мереж транспортування води. Багато міських мереж, особливо в історичних містах, експлуатуються понад 50–70 років, що призводить до поступового зниження герметичності труб і вузлів. Матеріали, з яких виготовлені старі труби, не завжди відповідають сучасним стандартам, тому при нормальному експлуатаційному навантаженні вони втрачають свої властивості, що спричиняє розриви або появу мікротріщин, через які вода витікає. Крім того, зміни температурного режиму,

коливання тиску та інші гідравлічні явища можуть сприяти утворенню додаткових дефектів у системах транспортування [1]. У деяких випадках витоки зумовлені також механічними пошкодженнями [1], наприклад, при земляних роботах, ремонтних роботах або аварійних ситуаціях, коли відбувається різке збільшення або зниження тиску в мережі. Такі ситуації можуть призводити до аварійного виходу води з трубопроводів, що значно збільшує обсяг втрат і потребує негайного ремонту.

1.1.1 Класифікація та загальні причини виникнення витоків

Витоки на мережах транспортування води в основному класифікуються на явні та невиявлені. Явні витоки легко помітити, оскільки вони проявляються на поверхні у вигляді калюж або струмків. До цієї групи належать витоки, які виникають через аварійні розриви або механічні пошкодження трубопроводів. Невидимі витоки складніше виявити, оскільки вода просочується під землю або в інші місця. Невиявлені витоки часто є найбільш складною проблемою для сучасних систем водопостачання, оскільки вони можуть залишатися непоміченими протягом тривалого часу, накопичуючи значні обсяги втрат.

Ще одним аспектом класифікації є витоки, пов’язані з арматурою та з’єднаннями. Нещільність арматурних вузлів, старіння ущільнювачів та інші конструктивні дефекти можуть призводити до постійних втрат води протягом усього експлуатаційного циклу мережі. Ці втрати, хоча іноді й невеликі в обсязі на окремій точці, при великій кількості таких елементів можуть накопичуватися до значних показників. Наприклад, навіть невелика втрата 0,2–0,3 л/год на одному вузлу, при врахуванні сотень таких вузлів у мережі, може призводити до втрат, що перевищують кілька тисяч кубометрів води на рік. В результаті, такі витоки мають як економічне, так і екологічне значення, оскільки вони спричиняють не тільки додаткові витрати на виробництво та транспортування води, а й надмірне використання природних ресурсів.

1.1.2 Методи виявлення та наслідки втрат води

Методи виявлення витоків води також є важливим напрямком у боротьбі з цією проблемою. Сучасні технології дозволяють використовувати як традиційні, так і інноваційні методи для діагностики стану мережі. Серед традиційних методів можна назвати візуальний огляд, акустичний моніторинг, використання спеціалізованих витратомірів та інших засобів вимірювання. Акустичні системи, зокрема, дозволяють вловлювати звук, створюваний водою, що витікає під тиском. Цей спосіб ефективний для глибоких трубопроводів[2]. Сучасні термографічні камери показують зони підвищеної вологості та перепади температури, які часто пов'язані з витоками. Ендоскопічні камери дозволяють зазирнути всередину стін та інших важкодоступних місць для виявлення пошкоджень[2]. До інноваційних методів відноситься застосування супутникових технологій та безпілотних літальних апаратів, що дозволяють здійснювати моніторинг великих мереж водопостачання в режимі реального часу. Завдяки цим технологіям, підприємства мають можливість оперативно виявляти проблемні ділянки та проводити профілактичні ремонти, що значно знижує рівень втрат води.

Наслідки витоків води різносторонні. По-перше, вони ведуть до економічних втрат, оскільки виробництво, транспортування та очищення води є ресурсномісткими процесами. Витрати, пов’язані з ремонтом пошкоджених мереж, зростанням тарифів для споживачів і зниженням ефективності роботи підприємств, можуть становити значну частину бюджету як державних, так і приватних організацій. По-друге, витоки води впливають на екологічну ситуацію. Надмірне використання водних ресурсів, особливо в умовах обмеженої кількості води в певних регіонах, може призводити до виснаження природних джерел, зниження рівня ґрунтових вод і навіть до деградації екосистем. Це, в свою чергу, має довгострокові наслідки для сільського

господарства, промисловості та життєдіяльності населення. Крім того, аварійні витоки можуть спричиняти руйнування інфраструктури, загрожувати безпеці людей і завдавати шкоди майну, що робить їх не лише економічно невигідними, а й соціально критичними.

Для зменшення витоків води застосовуються комплексні заходи, що включають як модернізацію існуючих систем, так і впровадження новітніх технологій моніторингу. Одним із ключових напрямів є модернізація матеріалів, що використовуються при будівництві трубопроводів, із заміною старих конструкцій на нові, більш міцні та стійкі до корозії матеріали. Сучасні системи автоматичного контролю, оснащені датчиками тиску, температури та інших параметрів, дозволяють виявляти відхилення від нормальних режимів роботи мережі, що може свідчити про наявність витоків. За допомогою таких систем можливо не тільки оперативно реагувати на аварійні ситуації, але й проводити профілактичний аналіз для запобігання виникненню нових дефектів. Додатковим інструментом у боротьбі з витоками є системи інтелектуального управління, які аналізують великі обсяги даних про експлуатацію мережі та допомагають приймати оптимальні рішення щодо ремонту і модернізації.

У деяких країнах, зокрема у розвинених, застосовуються програми «розумного водоканалу», які інтегрують сучасні технології збору та аналізу даних. Такі програми дозволяють досягти високого рівня автоматизації та мінімізувати втрати води до кількох відсотків від загального обсягу.

Також важливим аспектом є підготовка кваліфікованого персоналу, здатного проводити не лише оперативний ремонт, а й профілактичні заходи, що сприяють запобіганню виникнення витоків. Навчання інженерів, технічного персоналу та спеціалістів з управління системами водопостачання дозволяє впроваджувати передові практики та забезпечувати належний рівень експлуатації інфраструктури. Регулярні семінари, тренінги та обмін досвідом між країнами сприяють швидкому поширенню інноваційних технологій і методів управління витоками. Вода необхідна для роботи, засобів для

існування та процвітаючої економіки. Жодна країна неспроможна досягти тривалого процвітання, не забезпечивши своє водне майбутнє. Надійне водопостачання підвищує продуктивність у сільському господарстві, енергетиці та промисловості – секторах, де зайняті мільйони людей, особливо в країнах з низьким рівнем доходу [3].

Окрім технічних заходів, необхідно враховувати і організаційні аспекти. Впровадження систематизованого обліку витрат води, аналіз причин виникнення витоків та планування капітальних ремонтів є невід'ємною частиною стратегії зниження втрат. Державні програми та інвестиційні проекти, спрямовані на модернізацію водопровідних мереж, мають важливе значення для стабілізації ситуації в галузі. Прозорість розрахунків, звітність та моніторинг ефективності заходів допомагають встановлювати контроль за реалізацією програм і забезпечують підтримку з боку громадськості та державних органів.

Враховуючи усі зазначені аспекти, можна зробити висновок, що вирішення проблеми витоків води в мережах транспортування вимагає системного підходу, що поєднує модернізацію технічного парку, впровадження сучасних технологій моніторингу та кваліфіковану підготовку персоналу. Лише комплексне вирішення цих завдань дозволить забезпечити раціональне використання водних ресурсів, знизити економічні втрати та запобігти негативним екологічним наслідкам. Такий підхід має стати пріоритетним напрямком у діяльності як державних, так і приватних організацій, що займаються водопостачанням, адже він сприяє сталому розвитку інфраструктури та забезпеченню високої якості послуг для населення.

Таким чином, проблема витоків води є актуальною, охоплюючи як технічні, так і організаційні деталі. Ретельний аналіз причин виникнення витоків, їх класифікація за типами та впровадження сучасних методів виявлення і профілактики дозволяють значно знизити обсяги втрат. Систематичний підхід до управління водопостачанням сприяє оптимізації

виробничих процесів, зменшенню економічних витрат і покращенню якості води, що надається споживачам. Це, в свою чергу, дозволяє забезпечити стійкий розвиток інфраструктури та раціональне використання обмежених водних ресурсів.

Оскільки витоки води впливають на усі аспекти системи водопостачання, від експлуатаційних витрат до екологічної стабільності, їх вирішення має бути інтегрованою задачею для усіх учасників процесу – від розробників нормативних документів до виконавців ремонтних робіт. Реалізація ефективних заходів спрямована на зниження втрат води та оптимізацію технологічних процесів, що в кінцевому результаті дозволяє не лише економити фінансові ресурси, а й зберігати водні ресурси для майбутніх поколінь. Цей підхід є ключовим для забезпечення стійкого розвитку водопостачальних систем та підвищення якості життя населення, що залежить від надійного постачання чистої питної води.

1.2 Аналіз витоків через протікання через стики та стіни трубопроводів

Витоки води через стикові з'єднання та мікродефекти стінок трубопроводів є однією з найменш очевидних, але найбільш постійних та поширених причин втрат у системах водопостачання. Ці витоки, що класифікуються як компонент W131 прихованих втрат у відповідних методиках [4], являють собою повільне, дифузне просочування води. Рівень схованих витоків пов’язаний з протіканнями через стики і стіни трубопроводів можна визначити [4] за формулою(1.1) :

$$W_{131} = \frac{\sum 526.6 \times K \times L_i \times q_i \times \sqrt{H_{\text{сер}} \div 60}}{Q_{\text{під}}}, \qquad (1.1)$$

де N – кількість аварій на трубопроводі і-го діаметра, од.;

L_i – Діаметр i - ї ділянки трубопроводу, км;

q_i – допустимий рівень витрат води при гідравлічних випробуваннях згідно таблиці 6 ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012 [5];

$H_{\text{сер}}$ – середній тиск води в мережі з урахуванням графіка подачі води, в м.в.ст.;

K – коефіцієнт, який залежить від віку трубопроводів, матеріалу труб, типу стиків.

Значення К можуть бути визначені експериментальним шляхом.

На відміну від аварійних поривів, що мають раптовий характер та значну інтенсивність, ці витоки характеризуються низькою швидкістю в кожній окремій точці негерметичності. Це можуть бути мікротріщини в матеріалі труби, пористість (особливо у старих чавунних або залізобетонних трубах), але найчастіше – нещільності в численних стиках між трубами та в місцях приєднання фасонних частин і арматури. Саме через їхню малу інтенсивність та розподілений характер вздовж тисяч кілометрів мереж, їх часто називають "фоновими" витоками. Їхній сукупний обсяг, однак, стає надзвичайно значним (рис.1.1), формуючи базовий рівень втрат, присутній у мережі цілодобово, та суттєво впливаючи на загальний водний баланс і економічну ефективність водопостачання.

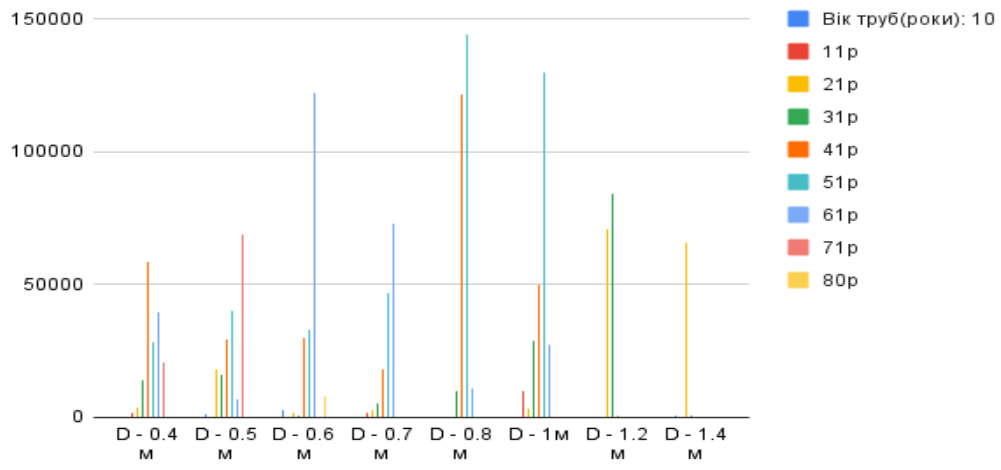


Рисунок 1.1 – Діаграма 1 : витоки через протікання через стики та стіни трубопроводів. М³/рік

1.2.1 Причини виникнення фонових витоків: корозія та дефекти монтажу

Формування та прогресування витоків через стики і стіни є комплексним процесом, зумовленим синергетичною дією різних факторів протягом тривалого терміну експлуатації трубопроводів.

Довговічність трубопроводу визначається стійкістю його матеріалу до процесів старіння та руйнування. Для традиційних металевих труб (чавун, сталь), що складають основу більшості мереж в Україні, одним із головних ворогів є корозія. Процеси корозії є визначальними для терміну служби металевих трубопроводів та однією з причин виникнення витоків. Для сталевих труб, що прокладені безпосередньо в ґрунті, важливими факторами, що впливають на зовнішню корозію, є характеристики самого ґрунту: його питомий електричний опір, вміст води, рівень pH та вміст солей. Грунт по суті є пористим драглистим капіляром з трьома фазовими станами: твердим, рідким і газовим. Пори ґрунту заповнені повітрям і водою. Певна кількість солі у воді змушує ґрунт мати іонну провідність. Фізичні та хімічні властивості ґрунту та електрохімічна неоднорідність металевого матеріалу задовольняють умовам електрохімічної корозії заглиблених трубопроводів, що призводить до корозії[7]. Внутрішня корозія таких труб залежить від властивостей води, що транспортується. Ключовими факторами тут є вміст розчиненого кисню, температура води та її показник pH. Крім того, на процес впливають склад води та наявність домішок, а також швидкість потоку води всередині труби. Основні види та характеристика корозії:

а) рівномірна корозія – форма локалізованої корозії, при якій поверхня елемента покривається майже рівномірно шаром оксиду[6]. Часткові реакції (розчинення металу та відновлення кисню) статистично розподіляються по поверхні, що призводить до більш-менш однорідного розчинення металу та рівномірного утворення продуктів корозії (наприклад, червона іржа на сталі).

b) пітингова корозія – форма локалізованої корозії, яка виникає на металевих поверхнях, особливо на нержавіючій сталі та інших стійких до корозії сплавах. Вона характеризується утворенням невеликих отворів або ямок, які можуть проникати глибоко в матеріал. Небезпека пітінгової корозії полягає в тому, що порушення металу в багатьох випадках має наскрізний характер[15].

c) щілинна корозія –- форма локалізованої корозії, яка виникає в тріщинах, утворених між двома поверхнями, виготовленими з одного металу, різних металів або навіть металу та неметалу. Він ініціюється обмеженим надходженням кисню з повітря в область щілини, що призводить до різних концентрацій розчиненого кисню[25].

d) гальванічна корозія – форма локалізованої корозії, яка стосується корозійного пошкодження, коли два різнорідні метали мають електропровідне з’єднання та контактують із спільним корозійним електролітом. В електрохімічній моделі корозії одна з двох часткових реакцій (анодне розчинення металу та катодне відновлення кисню) відбувається майже виключно на одному металі[25].

Для залізобетонних труб характерна корозія сталевої арматури (особливо в присутності хлоридів), руйнування бетонної матриці під дією сульфатної агресії або вилуговування. Полімерні труби (ПВХ, ПЕ), хоч і стійкі до корозії, піддаються старінню під дією УФ-випромінювання, хімічних реагентів, а також можуть руйнуватися через втому при тривалих циклічних навантаженнях або через повзучість матеріалу.

Також проблемними є місця стикових з'єднань. Стики є конструктивно слабкими місцями. Дефекти монтажу є поширеною причиною виникнення витоків. До них відносяться: неправильне центрування труб при укладанні, неякісне ущільнення розтрубних з'єднань (наприклад, неправильна установка гумового кільця [5], помилки при монтажі фланцевих з'єднань, такі як нерівномірна затяжка болтів або неправильне використання прокладок [5], а також дефекти зварних швів сталевих чи поліетиленових труб [5]. Усі ці

порушення технології монтажу, описані в будівельних нормах та настановах [5], можуть призвести до негайної або відтермінованої втрати герметичності з'єднань. Не менш важливим є фактор старіння та деградації ущільнюючих матеріалів (гумових кілець, прокладок) з плином часу під дією експлуатаційних факторів. Цей процес призводить до поступової втрати герметичності стиків і є частиною загального старіння водопровідної інфраструктури, що веде до збільшення реальних втрат води. Надійність стику також значною мірою залежить від його початкової конструкції – сучасні типи з'єднань (наприклад, розтрубні з гумовими ущільнювачами заводського виготовлення, якісно виконані зварні) зазвичай демонструють вищу довговічність та герметичність порівняно із застарілими технологіями.

1.2.2 Вплив зовнішніх навантажень та гідравлічних ударів

Зовнішні навантаження, такі як вага ґрунту, транспорту та сусідніх споруд, відносяться до постійних та змінних впливів, які суттєво впливають на напружено-деформований стан трубопроводів. Головну небезпеку становлять нерівномірні просідання основи через зміну рівня ґрунтових вод, карстові процеси чи епізодичні навантаження, що викликають значні згинальні та зсувні зусилля у трубах. Вібрації від транспорту, як короткочасні змінні навантаження, можуть призводити до втомного руйнування та розгерметизації стиків. Температурні деформації, що виникають через коливання температури ґрунту і води, спричиняють осьові напруження, які можуть викликати пошкодження труб або видавлювання ущільнень. Відповідно до ДБН В.2.5-75:2013 [8], у зонах просідань або підробок необхідно передбачати компенсатори та гнучкі з’єднання для зниження ризику аварій.

Проблемою також є різкі зміни тиску в трубопроводах (гідравлічні удари), виникають при раптовому закритті засувок або зупинці насосів, що призводить до короткочасного, але значного підвищення тиску. Гідравлічний

удар може спричинити появу поздовжніх тріщин у трубах, що може призвести до їхнього розриву, або пошкодити інші компоненти трубопроводу[9]. Крім того, гідроудари є дуже небезпечними для іншого обладнання, такого як теплообмінники, насоси та системи очищення води, які працюють під тиском. Стабільно завищений робочий тиск у мережі не лише збільшує інтенсивність вже існуючих витоків, але й значно прискорює процеси корозії, втоми матеріалу та старіння ущільнень, скорочуючи термін служби мережі . Для запобігання гідравлічним ударам рекомендується [10]:

- використання амортизаторів. Вібровставки, компенсатори, демпфери та гідроакумулятори гасять хвилі тиску, запобігаючи їхньому впливу на систему.

- плавне відкриття і закриття кранів. Важливо уникати різкого відкриття або закриття кранів, оскільки це може спричинити гідравлічний удар. Плавне регулювання потоку води допомагає пом'якшити перепади тиску.

- використання змінних частотних насосів. Пристрої контролюють швидкість потоку води більш плавно, що знижує ймовірність гідравлічних ударів.

Економічні збитки: вартість втраченої води (витрати на забір, очищення, реагенти); вартість енергії, витраченої на підйом та транспортування цієї води; збільшення витрат на ремонт та обслуговування мережі; потенційні збитки від пошкодження приватної та громадської власності через витоки. Дослідження в рамках концепції Економічного Рівня Витоків (ELL – Economic Level of Leakage) [11] допомагають визначити оптимальний рівень витрат на боротьбу з витоками, при якому ці витрати не перевищують вартість самої втраченої води. Екологічні наслідки полягають у надмірному використанні водних ресурсів, що особливо критично в регіонах з їх дефіцитом, а також у ризиках забруднення підземних вод та ґрунтів.

1.2.3 Методи виявлення та шляхи зменшення протікань

Виявлення дрібних, розподілених витоків є доволі складним. Найбільш надійним інструментом для оцінки їх загального рівня в певній зоні є створення постійно або тимчасово ізольованих зон вимірювання (Зони районного вимірювання або DMA – це зони водорозподільної мережі, ізольовані від усієї системи. Таким чином потоки, що входять і виходять з DMA, можуть бути виміряні або кількісно визначені. DMA забезпечують більш точний спосіб відстеження використання води та втрат у системі. DMA створені таким чином, що їх можна ізолювати від системи без негативного впливу на потреби, тиск і постачання решти системи[12]) та аналіз мінімальних нічних витрат (МНВ).

Порівняння фактичного МНВ (після віднімання розрахункового нічного споживання абонентів) з технічно неминучим рівнем витоків (Unavoidable Annual Real Losses – UARL, за методикою IWA [13]) дозволяє оцінити обсяг потенційно усувних фонових витоків. Для локалізації окремих, більш значних протікань у стиках можна використовувати акустичні методи[3], але їхня ефективність для дуже дрібних витоків обмежена низьким рівнем шуму та великою кількістю потенційних джерел.

Шляхи зменшення. Основні напрямки:

- пріоритетна заміна або санація найбільш старих, зношених та аварійних ділянок мереж. Використання сучасних матеріалів (ВЧШГ, ПЕ, ПВХ) та надійних стиків. Застосування полімерно-композитних оболонок, армованих волокном , релайнінг – протягування труби в трубі, ріре bursting – руйнування старої труби з одночасною протяжкою нової) дозволяє відновити структурну цілісність та герметичність з меншими витратами та порушенням благоустрою. Дослідження ефективності та довговічності цих методів є важливим напрямком.

- жорстке дотримання вимог стандартів [5] та технологічних регламентів при прокладанні нових та ремонті існуючих трубопроводів, контроль якості матеріалів та з'єднань.
- активне управління тиском та створення зон з регульованим тиском за допомогою регуляторів (PRV), оптимізація режимів роботи насосних станцій для зниження надлишкового тиску, особливо вночі.
- впровадження систем моніторингу тиску та витрат у зонах DMA[13], аналіз динаміки МНВ для оцінки стану мережі та ефективності впроваджених заходів.

1.3 Аналіз витоків через невиявлені свищі

Невиявлені свищі – це локальні наскрізні пошкодження стінки труби, які є другим ключовим компонентом прихованих втрат води. На відміну від фонових протікань, свищ характеризується концентрованим витоком води під тиском через відносно невеликий отвір або тріщину. Інтенсивність такого витоку може бути значною (від десятків літрів до десятків кубометрів на годину), залежно від розміру отвору та тиску в мережі. Основна проблема полягає в тому, що ці витоки часто залишаються невиявленими протягом тривалого часу (місяці, роки), оскільки вода не виходить на поверхню, а інфільтрує в ґрунт, дренажні системи, каналізаційні колектори або підвали. Це призводить до накопичення величезних обсягів втраченої води, які важко виявити без спеціальних заходів (рис.1.2). Кількість води, яка протікає через невиявлені свищі, визначається [4] за формулою(1.2):

$$W_{132} = \frac{9568 \times N_{св} \times \sum (t_i \times \omega_i \times \sqrt{H})}{Q_{під}}, \quad (1.2)$$

де $H_{св}$ - кількість невиявлених свищів;

Кількість невиявлених свищів оцінюється [4] за формулою(1.3):

$$H_{св} = 0{,}0007 \times T \times N \quad (1.3)$$

де N – кількість аварій;

T – срок служби трубопроводу в роках;

t_i – час витікання через невиявлені свищі протягом року (8760 годин);

ω_i – площа отвору свища. За відсутності фактичних даних може прийматись рівною 2×10^{-4} м$^{-2}$;

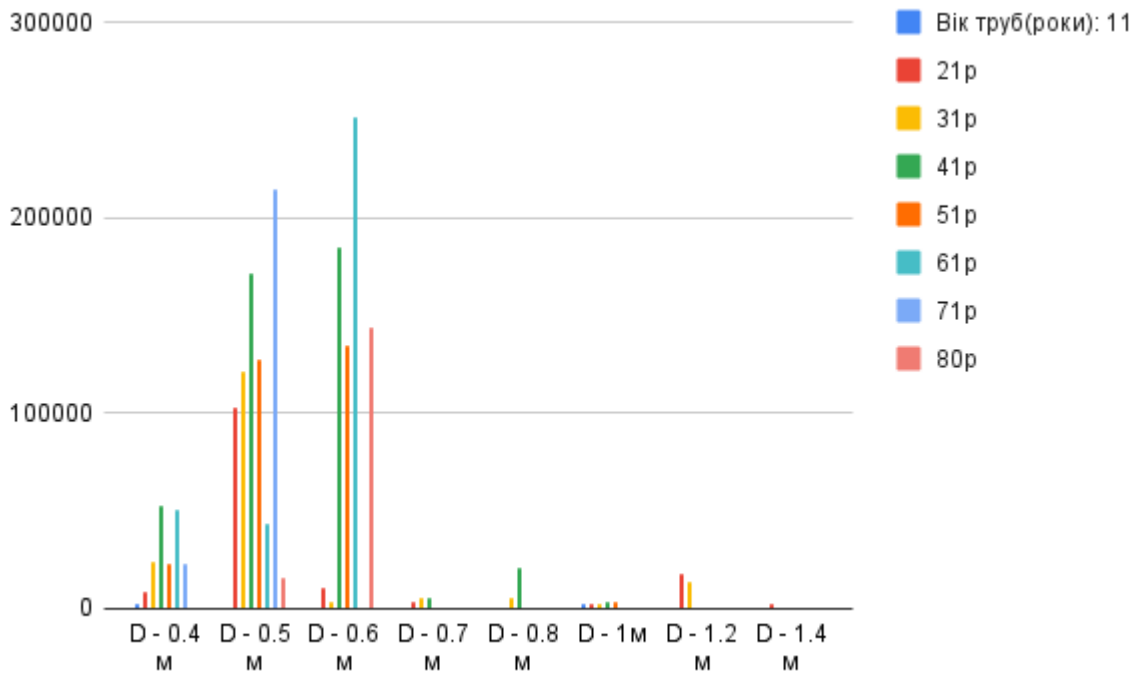


Рисунок 1.2 – Діаграма 2: витоки через невиявлені свищі. М³/рік

1.3.1 Причини утворення свищів та їх наслідки

Причини утворення свищів багато в чому перетинаються з причинами загальної деградації труб, але мають більш локалізований характер:

а) корозія: Особливо пітингова корозія сталевих та чавунних труб, яка концентрується на малих ділянках поверхні (часто під відкладеннями або в місцях пошкодження покриття) і розвивається вглиб матеріалу, утворюючи каверни, що з часом стають наскрізними [20]. Також важливі гальванічна корозія (контакт різних металів, вплив блукаючих струмів) та мікробіологічно індукована корозія (MIC), що спричиняється діяльністю певних бактерій [14].

b) виробничі дефекти: Локальні дефекти структури матеріалу (пори, раковини, шлакові включення, тріщини), що виникли під час виготовлення труби або її зварювання, можуть стати концентраторами напружень і місцями прискореного руйнування під дією тиску та корозії.

c) механічні пошкодження: Навіть незначні пошкодження (удари, подряпини) при транспортуванні, монтажі або в процесі експлуатації (наприклад, при неакуратних земляних роботах поруч) можуть ініціювати тріщину або пошкодження захисного покриття, що сприяє розвитку локальної корозії та утворенню свища.

d) втома матеріалу: Циклічні навантаження від коливань тиску, особливо в місцях концентрації напружень (зварні шви, відводи, трійники), можуть призвести до утворення та розвитку втомних тріщин, які перетворюються на свищі.

Втрати води через невиявлені свищі можуть сягати колосальних обсягів і часто є основною складовою реальних втрат у багатьох системах. Унаслідок цього економічні збитки можуть досягти великих втрат. Економічні збитки включають не лише вартість втраченої води та енергії, але й значні потенційні витрати на ліквідацію наслідків тривалого витоку: розмив ґрунту, утворення провалів, пошкодження дорожнього покриття, фундаментів будівель, сусідніх комунікацій.

1.3.2 Інструментальні методи виявлення невиявлених свищів

Виявлення свищів базується на інструментальних методах, що фіксують фізичні явища, які супроводжують витік.

a) акустичні методи: Найбільш поширені. Кореляційні течешукачі визначають місце витоку шляхом аналізу різниці часу надходження шуму від витоку до двох синхронізованих датчиків, встановлених на трубопроводі (напр., на гідрантах, засувках). Точність залежить від матеріалу труби, її діаметру, тиску та якості вхідних даних про мережу, точності визначення

витоку повинна бути ± 10 см від її реального місця розташування по максимальній довжині обстежуваної ділянки трубопроводу[16]. Акустичні детектори (стаціонарні чи мобільні) працюють, вловлюючи шум води, що протікає, особливо корисні для перевірки прихованих труб[2]. Геофони використовуються оператором для детального прослуховування поверхні землі над трубопроводом для точної локалізації джерела шуму [2].

b) метод трасуючих газів: Використовується там, де акустика неефективна (пластикові труби, низький тиск, високий фоновий шум). Метод трасуючого газу заснований на подачі індикаторного інертного газу (суміш водню і азоту) в трубу, що досліджується, і виявленні газу в місцях витоку за допомогою газоаналізатора [17]. Газ виходить через свищ і піднімається крізь ґрунт на поверхню, де його виявляють високочутливими детекторами.

c) інші методи: Тепловізійний (виявлення температурних аномалій, що виникають в результаті зволоження і зміни теплопровідності будівельних матеріалів) [17], внутрішньотрубна діагностика (ультразвукові та акустичні сканери, що рухаються всередині труби) [17]. Останні методи є дорогими і складними для застосування на водопровідних мережах під тиском.

Шляхи зменшення втрат води:

Ефективне запобігання втратам води, особливо фізичним витокам, вимагає переходу від реагування на видимі аварії до нових підходів. Ключовим підходом є Активний Контроль Витоків (Active Leakage Control - ALC), який передбачає постійний моніторинг розподільчої системи для виявлення ознак витоків та використання спеціалізованих команд для їх швидкого знаходження та усунення [18].

Запобігання втратам води включає такі основні етапи та методи [18]:

a) запобігання:

- усунення причин витоків: Боротьба з основними причинами, такими як проблеми під час монтажу, експлуатації та деградація матеріалів (наприклад, корозія).

- активне Управління Тиском (Active Pressure Management – APM): Використання дистанційно керованих клапанів для динамічного зниження тиску в мережі. Це зменшує ймовірність виникнення нових витоків та обсяг втрат через існуючі пошкодження.
- «спокійні мережі»: Контрольоване керування клапанами для уникнення різких перепадів тиску (гідроударів), які можуть пошкодити ослаблені ділянки труб.

b) виявлення:

- моніторинг та раннє попередження: Використання цифрових технологій, таких як акустичні логери або датчики, для автоматичного виявлення шуму витоків у трубах, що слугує системою раннього оповіщення.
- систематичний пошук: проведення регулярних обстежень мережі. Хоча традиційні методи, як-от прослуховування за допомогою акустичних стержнів, все ще використовуються (особливо вночі для зменшення фонового шуму), їх доповнюють цифрові акустичні інструменти (датчики, корелятори, наземні мікрофони).
- аналіз даних та ШІ: Застосування аналітики даних та штучного інтелекту (для аналізу зібраної інформації (наприклад, акустичних даних), точного визначення місця витоку та навіть оцінки його розміру для першочергових ремонтів.

c) ремонт:

- швидке усунення: Оперативне та якісне виконання ремонтних робіт після точного визначення місця витоку. Швидкість реагування є ключовим елементом ALC.

d) аналіз та пріоритетність:

- водний баланс: Проведення оцінки для визначення обсягів реальних втрат води та встановлення обґрунтованих цілей щодо їх скорочення.
- пріоритетність на основі даних: Використання зібраних даних та аналітичних інструментів (включаючи ШІ) для визначення

пріоритетності ремонтів, зосереджуючись на найбільших витоках для максимального ефекту скорочення втрат.

1.4 Аналіз витоків через ущільнення при неполадках арматури

Третя значна категорія фізичних втрат води пов'язана з неполадками та негерметичністю запірно-регулюючої арматури. Це включає витоки через сальникові ущільнення штоків (шпинделів), нещільності фланцевих та різьбових з'єднань, а також внутрішні протікання через запірний орган арматури, яка не забезпечує повного перекриття потоку в закритому стані. Сюди ж відносять витоки через водорозбірні колонки (W16) [4]. Враховуючи величезну кількість одиниць арматури на мережі (засувки, вентилі, пожежні гідранти, вантузи, клапани тощо), навіть невеликі витоки на кожній з них можуть призвести до значних сумарних втрат (рис. 1.3).

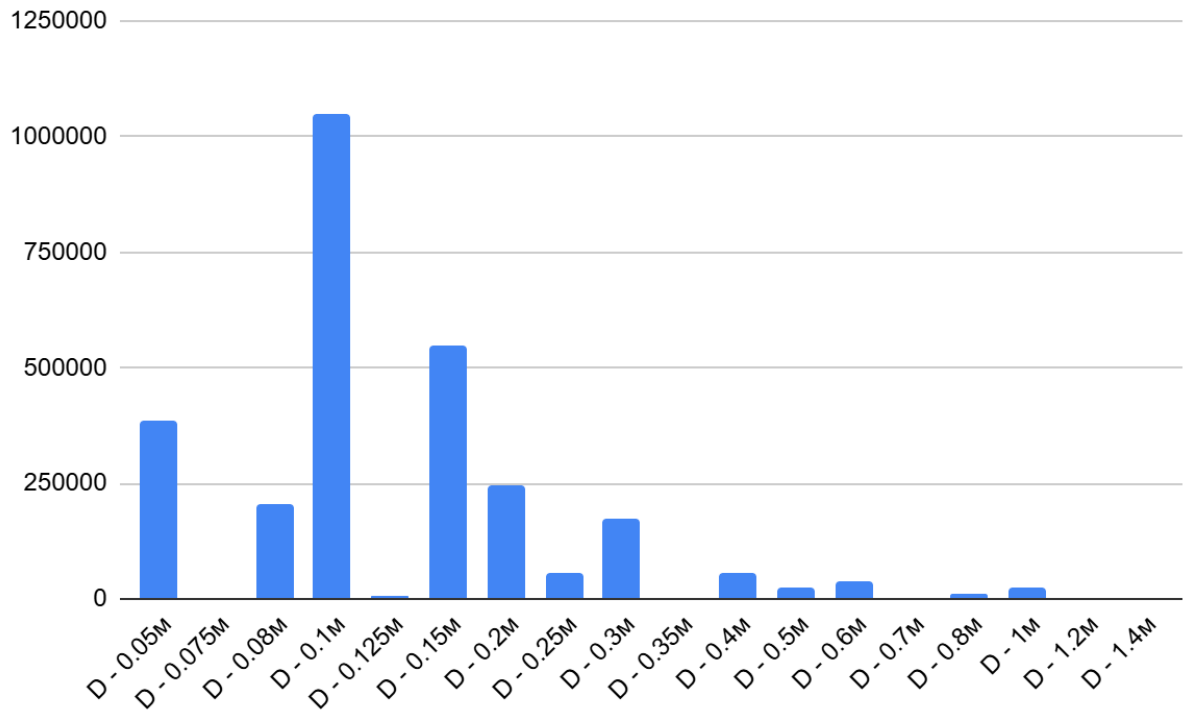


Рисунок 1.3 – Діаграма 3: витоки через ущільнення при несправностях арматури. М³/рік.

Основні причини виникнення протікань:

a) зношення, старіння та руйнування ущільнювальних елементів:

Це одна з найчастіших причин. Ущільнення забезпечують герметичність між рухомими (шток, куля, диск) та нерухомими (корпус, кришка) частинами арматури, а також між самою арматурою та трубопроводом.

- сальникові набивки: З часом, під впливом температури, тиску та хімічного складу середовища, волокна набивки (наприклад, азбестові, графітові, фторопластові) втрачають еластичність, змащувальні властивості та ущільнюються, що призводить до протікання вздовж штока. Вони потребують періодичної підтяжки або повної заміни.
- гумові та полімерні ущільнення: Кільця круглого перерізу, манжети, прокладки (з EPDM, NBR, FKM, PTFE та інших матеріалів) з часом старіють. Вони можуть тверднути, втрачати еластичність, розтріскуватися, хімічних реагентів або екстремальних температур. Механічне зношення під час руху штока чи затвора також руйнує їхню структуру.
- втрата пружності: Деякі ущільнення втрачають свою початкову форму та пружність, через що перестають щільно прилягати до поверхонь.

b) корозія та ерозія компонентів арматури:

- хімічна та електрохімічна корозія: Агресивне робоче середовище або зовнішні умови можуть викликати корозію металевих частин арматури (корпусу, кришки, штока, запірного елемента – клина, диска, кулі, сідел). Хімічна корозія виникає під впливом окиснювачів, як-от кисень, діоксид сірки тощо, і викликає утворення оксидного шару на поверхні металу[6].
- ерозійний знос: Ерозійний знос внутрішньої поверхні трубопроводу з'являється при його експлуатації і є найбільш поширеним видом зносу, особливо схильні криволінійні ділянки трубопроводів. Це руйнує як металеві частини, так і ущільнення.
- кавітаційна ерозія: Кавітація може викликати руйнування практично будь-якої твердої поверхні. Зокрема, кавітація в потоках рідини істотно

зменшує терміни експлуатації гідравлічного обладнання, гідроспоруд, гребних гвинтів, форсунок дизельних двигунів тощо.

c) механічні пошкодження:

- подряпини: пошкодження на полірованій поверхні штока (від неправильного монтажу, бруду) руйнують сальникову набивку або кільця ущільнювачів під час його руху. Подряпини на ущільнювальних поверхнях затвора також спричиняють негерметичність.
- деформація: Вигин штока, деформація запірного елемента чи корпусу внаслідок надмірних механічних навантажень (наприклад, від вібрації трубопроводу, неправильного монтажу, гідроудару) порушує геометрію ущільнювальних пар.
- знос різьби: У гвинтових з'єднаннях або на штоку з різьбою з часом може виникати знос, що ускладнює надійне закриття або регулювання.

d) неправильна експлуатація та недостатнє обслуговування:

- докладання надмірних зусиль: Спроба закрити арматуру із застосуванням надмірної сили (наприклад, за допомогою важелів, труб) може призвести до деформації або поломки штока, затвора, маховика, пошкодження ущільнень.
- гідравлічний удар**:** різка зміна внутрішнього тиску всередині трубопроводу може призвести до його пошкодження. Це може відбутися при різкому перекриванні запірних пристроїв на ньому.
- використання не за призначенням: Експлуатація арматури в умовах (тиск, температура, тип середовища), на які вона не розрахована.
- несвоєчасне обслуговування: Відсутність регулярного змащення рухомих частин (штока, різьби), ігнорування необхідності підтяжки сальникової набивки, несвоєчасна заміна зношених прокладок та ущільнень.

e) потрапляння сторонніх предметів:

- частинки бруду, піску, іржі, окалини, зварювального шлаку, каміння або інші тверді предмети, що переносяться потоком робочого середовища,

можуть потрапити між ущільнювальними поверхнями. Це заважає повному закриттю арматури або пошкоджує ущільнювальні поверхні під час спроби закриття.

f) помилки монтажу та виробничі дефекти:

- помилки при монтажі: Неправильне центрування арматури відносно трубопроводу, надмірне або недостатнє затягування кріпильних елементів (болтів на фланцях), використання невідповідних або пошкоджених прокладок між фланцями, пошкодження арматури під час встановлення, відсутність очищення трубопроводу перед монтажем.
- виробничі дефекти: Приховані дефекти лиття (пористість, раковини), неточність механічної обробки ущільнювальних поверхонь, використання неякісних матеріалів для ущільнень або основних деталей, дефекти зварних швів.

g) інші фактори:

- вібрація: Постійна вібрація трубопроводу може призвести до ослаблення різьбових з'єднань, кріплення кришки або сальникового вузла.
- температурні коливання: Різкі зміни температури викликають теплове розширення та стиснення матеріалів з різними коефіцієнтами, що може призвести до порушення герметичності з'єднань або прискореного старіння ущільнень.

1.4.1 Класифікація, облік та методи виявлення витоків на арматурі

Витоки води через нещільності арматури складаються з протікань через ущільнення при непладках, а також з витрат внаслідок просочування води через закриту арматуру[4].

Перша складова розраховується [4] за формулою(1.4):

$$W_{151} = \frac{365 \times \delta \times n \times q}{Q_{\text{під}}}, \qquad (1.4)$$

де δ – доля арматури, яка має протікання. При невідомій кількості приймається 0,1;

n – загальна кількість одиниць арматури;

q – середні втрати води через ущільнення мережевої арматури, м^3/добу. Цей показник оцінюється за фактичними даними, а за їх відсутності може прийматись на рівні 4,3 м^3/добу

Друга складова розраховується [4] з паспортних даних арматури з урахуванням фактичного часу закриття за формулою(1.5):

$$W_{152} = \frac{365 \times n \times q_n}{Q_{\text{під}}}, \quad (1.5)$$

де q_n – допустимий рівень протікання води через закриту арматуру (з паспортних даних), м^3/добу. За відсутності даних приймаються на рівні 4 л/год (0,096 м^3/добу);

n – загальна кількість одиниць арматури, які перебувають в експлуатації

Ці формули дозволяють оцінити потенційний обсяг втрат через арматуру для включення в загальний водний баланс.

Методи виявлення. Виявлення витоків через арматуру часто є відносно простим. Візуальний огляд колодязів, камер, гідрантів дозволяє легко виявити зовнішні протікання [2]. Акустичні методи ефективні для виявлення шуму як зовнішніх, так і внутрішніх витоків [2]. Функціональна перевірка під час обслуговування (легкість ходу, герметичність закриття).

1.4.2 Шляхи зменшення втрат через технічне обслуговування та заміну арматури

Зменшення витоків через арматуру потребує системної роботи з її обслуговування та заміни:

а) регулярне технічне обслуговування (ТО): Ведення та дотримання графіків планових ремонтів, що включають огляд, очищення, змащення,

підтяжку сальників, заміну зношених ущільнень. Інвентаризація арматури та ведення історії її обслуговування.

b) своєчасний ремонт та заміна: Оперативний ремонт виявлених неполадок. Заміна арматури, що вичерпала свій ресурс, є неремонтопридатною або економічно недоцільною для ремонту, на нову, сучасну.

c) використання сучасної надійної арматури: Вибір якісної арматури від перевірених виробників, що відповідає умовам експлуатації (тиск, температура, середовище). Перевага надається конструкціям з високою герметичністю (клас А), довгим терміном служби та мінімальними вимогами до обслуговування.

d) правильна експлуатація: Навчання персоналу правильним методам маніпуляцій з арматурою, використання спеціальних ключів, уникнення надмірних зусиль.

e) оптимізація та модернізація: Раціональне розміщення арматури, зменшення її надлишкової кількості, забезпечення легкого доступу для ТО. Заміна застарілих типів арматури на сучасні в рамках програм реконструкції мереж.

Ефективне управління втратами води у системах водопостачання неможливе без глибокого розуміння всіх ключових джерел витоків. Кожен тип витоків має свої специфічні причини, що часто пов'язані зі старінням інфраструктури, корозією матеріалів, дефектами монтажу, зовнішніми навантаженнями та проблемами з експлуатацією, зокрема, з управлінням тиском у мережі.

Для цього необхідний комплексний підхід. Він має поєднувати використання сучасних методів діагностики для виявлення прихованих витоків, оперативний ремонт пошкоджень, планову заміну та санацію зношених ділянок мережі, активне управління тиском, покращене технічне обслуговування арматури та постійний моніторинг стану системи.

РОЗДІЛ 2. СУЧАСНІ МЕТОДИ РЕКОНСТРУКЦІЇ МЕРЕЖ.

2.1 Спосіб «труба в трубі»

Метод «труба в трубі» або «релайнінг» - це сучасна технологія санації трубопроводу на внутрішній частині зношеної або пошкодженої труби. Однією з головних переваг цього методу є мінімальне залучення земляних робіт. Цей підхід дозволяє значно скоротити терміни виконання робіт, мінімізувати вплив на навколишнє середовище та міську інфраструктуру, особливо в умовах щільної забудови.

Принцип, на якому ґрунтується застосування методу «труба в трубі», полягає у відновленні ключових функцій пошкодженого або зношеного трубопроводу шляхом створення всередині нього нової, повноцінної труби (рис.2.1). Ця нова труба перебирає на себе основні експлуатаційні навантаження, забезпечуючи необхідні гідравлічні параметри та характеристики відновленої системи.

Незважаючи на можливе зменшення площі, гладка поверхня нової труби може зменшити гідравлічний опір і, відповідно, збільшити швидкість або зменшити втрати напору.

Пропускна здатність визначається за формулою:

$$Q=A\times v, \qquad (2.1)$$

де A – площа поперечного перерізу труби;

v – середня швидкість потоку.

Використання «релайнінгу» є доцільним, коли зношений трубопровід має дефекти, які суттєво знижують його ефективність, але повна заміна, використовуючи відкритий спосіб, є економічно невигідною або технічно складною задачею.

Серед основних показань для вибору «релайнінгу» можна виділити:

- втрату герметичності, що проявляється у наявності тріщин на стикових з'єднаннях, корозійних свищів, які призводять до витоків

транспортованого середовища або, навпаки, до інфільтрації ґрунтових вод.

- внутрішню корозію та утворення значних утворень на стінках труби, що зменшують її пропускну здатність та можуть негативно впливати на якість транспортованого середовища, наприклад, питної води.
- структурні пошкодження незначного або середнього ступеня, за умови, що стара труба загалом зберігає свою початкову геометричну форму і може виконувати роль захисного каналу для протягування нової труби, навіть якщо вона вже не здатна нести повне експлуатаційне навантаження.
- необхідність мінімізації обсягів земляних робіт, особливо в умовах щільної міської забудови, під важливими транспортними артеріями, залізницями, або при перетині водних перешкод, де проведення розкопок є вкрай небажаним чи технічно неможливим.
- економічна доцільність та можливість реалізації проєкту в стислі терміни, підтверджені детальним техніко-економічним обґрунтуванням (ТЕО), часто визначають перевагу «релайнінгу» над відкритим способом заміни чи іншими альтернативними методами санації.

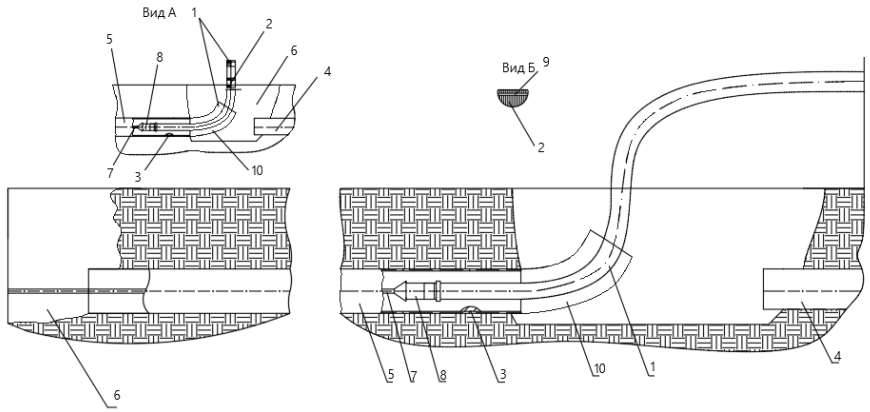


Рисунок 2.1 – Схема ремонту трубопроводу методом «труба в трубі»

1 – ГМТ; 2 – гофрована оболонка; 3 – дротяне обплетення; 4 – ремонтований трубопровід; 5 – пошкоджена ділянка трубопроводу; 6 – котловани; 7 – трос; 8 – знімна головка; 9 – кільце; 10 – напрямний лоток

Вибір матеріалу для формування нової труби при використанні способу «труба в трубі» залежить від низки факторів, зокрема від призначення інженерної мережі, хімічного складу та температури середовища, що транспортується, робочих тисків та специфічних умов монтажу.

Найбільш поширеним матеріалом для відновлення напірних мереж, є поліетилен високої щільності [19]. Сучасні марки цього матеріалу, наприклад ПЕ-100, характеризуються високою довготривалою міцністю, що для ПЕ-100 становить 10 МПа. Поєднання гнучкості та міцності, висока ударна в'язкість, відмінна зварюваність та виняткова стійкість до корозійних процесів і впливу більшості агресивних хімічних середовищ. Для особливо складних умов релайнінгу, де існує підвищений ризик механічного пошкодження нової труби під час її протягування, частіше застосовують інноваційні марки поліетилену, такі як ПЕ-100RC. Цей матеріал, зберігаючи усі переваги стандартного ПЕ-100, має покращену стійкість до повільного розповсюдження тріщин та підвищену стійкість до точкових навантажень. Поширеними також є поліуретан та полівінілхлорид [19].

Нормативні вимоги до поліетиленових труб, призначених для систем холодного водопостачання, вказані у ДСТУ Б В.2.7-151:2008 «Труби поліетиленові для подачі холодної води. Технічні умови» [28]. Для газопостачальних мереж ДСТУ Б В.2.7-73-98 «Труби поліетиленові для подачі горючих газів» [29].

Для безнапірних та деяких типів напірних систем, особливо каналізаційних, також можуть ефективно використовуватися труби з полівінілхлориду та поліетилену, які мають гарну хімічну стійкість, довговічність та гладку внутрішню поверхню. Ще одним перспективним варіантом, особливо для відновлення трубопроводів великих діаметрів (від 500 мм і більше) та у випадках, коли потрібна висока власна кільцева жорсткість нової труби, є використання склопластикових труб. Ці композитні труби мають хороші механічні характеристики, високу питому міцність при значно меншій вазі порівняно зі звичайними матеріалами, корозійну та хімічну

стійкість, та високу кільцеву жорсткість (класи SN5000, SN10000 Па і вище), що забезпечує їх проектну довговічність понад 50 років.

Кільцева жорсткість визначається як:

$$SR = \frac{E \times I}{D_m^3} \quad (2.2)$$

де E – модуль пружності матеріалу труби;

I – момент інерції стінки труби на одиницю довжини;

D_m – середній діаметр труби;

2.1.1. Технологія виконання робіт та контроль якості

Успішне виконання санації залежить від ретельного та послідовного виконання кожного технологічного етапу:

a. Підготовчий етап:
   - включає детальне вивчення проектної та виконавчої документації на існуючий трубопровід.
   - проведення відеодіагностики за допомогою TV-камери для точної оцінки внутрішнього стану труби, виявлення всіх дефектів, їх характеру, розмірів та точної локалізації.
   - калібрування труби для визначення її фактичного прохідного перерізу.
   - на основі отриманих даних приймається остаточне рішення щодо можливості та доцільності застосування «релайнінгу», обирається його конкретний варіант та матеріал для нової труби, розробляється проект виконання робіт.
   - також на цьому етапі виконується розкопка стартового та приймального котлованів або підготовка існуючих колодязів, а ділянка трубопроводу тимчасово виводиться з експлуатації, за необхідності організовується тимчасове перекачування потоку.

b. Очищення внутрішньої поверхні існуючого трубопроводу:
   - є одним з найважливіших, оскільки від його якості залежить можливість безперешкодного протягування нової труби та довговічність відновленої системи.
   - для видалення всіх видів відкладень застосовують гідродинамічний, механічний або гідромеханічний методи.
   - після очищення проводиться повторна відеодіагностика для контролю якості та підтвердження готовності трубопроводу до подальших операцій.
   - одночасно готується нова труба (зварюються поліетиленові секції в єдиний батіг).
c. Монтаж нової труби:
   - нова труба-батіг або окремі сегменти вводяться в стару трубу за допомогою тягових лебідок з контролем зусилля.
   - якщо це передбачено проектом, кільцевий зазор між старою та новою трубами заповнюється спеціальним розчином.
d. Завершальні операції:
   - включають відновлення підключень (обрізка кінців нової труби та її приєднання до існуючої мережі, відновлення бічних врізок для каналізації).
e. Фінальний контроль якості та випробування:
   - є заключним етапом, що підтверджує якість виконаних робіт.
   - проводиться остання відеодіагностика, виконуються гідравлічні (або пневматичні для газопроводів) випробування на міцність та герметичність згідно з вимогами відповідних нормативних документів, таких як ДБН В.2.5-74:2013 «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди [26]. Основні положення проектування» та ДСТУ-Н Б В.2.5-40:2009 «Проектування та

монтаж мереж водопостачання та каналізації з пластикових труб» [27].

– після успішного завершення всіх робіт та випробувань, що оформлюються відповідними актами, об'єкт здається в експлуатацію.

Важливим також є техніко-економічне обґрунтування. Воно включає детальний аналіз усіх витрат (як прямих, так і непрямих) та очікуваних результатів від застосування релайнінгу порівняно з традиційним відкритим методом заміни трубопроводу. Значне скорочення термінів виконання робіт, мінімізація обсягів земляних робіт, супутніх витрат на відновлення дорожнього покриття та елементів благоустрою, а також мінімізація негативного впливу на соціальну сферу та навколишнє середовище, через що релайнінг часто виявляється значно економічно вигіднішим, особливо при відновленні протяжних ділянок трубопроводів та в умовах щільної міської забудови.

Переваги методу «труба в трубі»:

a. Суттєва економія коштів, яка часто сягає 30-50% і більше порівняно з відкритим методом.
b. Значне скорочення термінів виконання робіт.
c. Мінімальний вплив на дорожній рух, міську інфраструктуру та навколишнє середовище.
d. Нові полімерні трубопроводи, що укладаються методом релайнінгу, забезпечують високу надійність та тривалий термін служби (понад 50 років).
e. Покращення гідравлічних характеристик системи за рахунок гладкої внутрішньої поверхні нових труб.
f. Повне відновлення герметичності системи.

Недоліки або обмеження:

a. Деяке зменшення прохідного перерізу трубопроводу при використанні класичного релайнінгу (хоча це часто компенсується покращенням гідравліки).
b. Певні вимоги до мінімально допустимого стану старого трубопроводу: він не повинен мати повних обвалів або значних некомпенсованих деформацій.
c. Можливі складнощі при проходженні ділянок зі значною кривизною або численними неврахованими підключеннями.
d. Важливою умовою успішного завершення санації є необхідність ретельного та якісного очищення старої труби перед початком самої санації.

2.2 Застосування полімерно-композитних оболонок, армованих волокном

Якість виконаної санації безпосередньо залежить від правильного вибору та якості самих матеріалів, з яких формується відновлювальна оболонка. Ці матеріали повинні не тільки забезпечувати необхідну структурну міцність та герметичність, але й витримувати довготривалий вплив агресивних середовищ, механічних навантажень та температурних коливань.

2.2.1 Функція та види армуючих волокон

Волокна в структурі полімерно-композитної оболонки виконують роль основного силового каркасу. Саме вони сприймають та перерозподіляють переважну більшість механічних навантажень, що діють на відновлений трубопровід протягом усього терміну його експлуатації. Завдяки високим показникам власної міцності та жорсткості, армуючі волокна надають композитній оболонці необхідні механічні властивості, такі як висока міцність на розтяг, міцність на вигин (опір руйнуванню при згинанні) та загальну конструкційну жорсткість, яка забезпечує стабільність форми та опір деформаціям. Тип, форма, орієнтація та об'ємний вміст волокон у композиті є

ключовими факторами, що визначають кінцеві механічні характеристики та анізотропію властивостей оболонки.

Типи армуючих волокон:

a. Скловолокно:
   - є найбільш поширеним армуючим матеріалом завдяки оптимальному поєднанню міцності, хімічної стійкості та вартості.
   - застосовується у вигляді нетканих матів, які можуть бути основою повстяних лайнерів, тканин різного типу плетіння для забезпечення спрямованої міцності, або у вигляді прошитих мультиаксіальних тканин для оптимального розподілу навантажень у складних конструкціях лайнерів.
b. Вуглецеве волокно:
   - вирізняється значно вищою питомою міцністю та модулем пружності порівняно зі скловолокном, що дозволяє створювати більш тонкі та легкі оболонки з еквівалентними або кращими механічними характеристиками.
   - використовується у формі тканин або односпрямованих стрічок, особливо для санації трубопроводів під високим тиском, труб великих діаметрів із значними зовнішніми навантаженнями, або коли критично важливе мінімальне зменшення внутрішнього перерізу.
   - основним обмежуючим фактором є висока вартість.
c. Базальтове волокно:
   - за механічними властивостями займає проміжне місце між скловолокном та вуглеволокном.
   - характеризується кращою термостійкістю та хімічною стійкістю (особливо до лугів) порівняно з Е-склом.
   - вважається перспективним матеріалом, хоча його застосування у санації трубопроводів наразі менш поширене.

2.2.2 Типи полімерних матриць та допоміжних компонентів

Полімерна матриця є не менш критичним компонентом композитної оболонки, що виконує цілий комплекс взаємопов'язаних функцій.

а. Функції полімерної матриці:

– виконує функцію зв'язувального елемента, надійно об’єднуючи окремі армувальні волокна в єдину монолітну структуру та запобігаючи їх зміщенню.

– відповідає за ефективний перерозподіл механічних навантажень між волокнами, не дозволяючи концентруватися напруженням в окремих точках.

– формує суцільний захисний бар'єр, що ізолює армувальні волокна (які можуть бути чутливими до певних впливів) від агресивного зовнішнього середовища, такого як волога, хімічно активні речовини в ґрунті або в транспортованому продукті.

Тип полімерної смоли та її реологічні властивості, зокрема такі як в'язкість і тривалість гелеутворення, визначають технологічність переробки композиту, метод його формування та параметри процесу твердіння. У технологіях санації трубопроводів переважно домінують термореактивні смоли(близько 85% у готовому продукті[20]) , які після процесу полімеризації утворюють жорстку, міцну тривимірну просторову сітку, що забезпечує стабільність властивостей у широкому діапазоні температур та умов.

Типи полімерних смол:

а. Ненасичені поліефірні смоли:

– найбільш поширені завдяки хорошій просочувальній здатності, прийнятним механічним властивостям та відносній дешевизні.

– для санації каналізаційних та зливових колекторів зазвичай використовуються ізофталеві або ізофталево-неопентилгліколеві типи, що мають добру водостійкість та стійкість до багатьох хімікатів.

b. Вініл-ефірні смоли:

– пропонують покращені характеристики порівняно з поліефірними: вищу хімічну стійкість (до кислот, лугів, розчинників), кращі механічні властивості (особливо втомну міцність) та вищу термостійкість.

– часто обираються для промислових трубопроводів та колекторів з агресивними стоками.

c. Епоксидні смоли:

– забезпечують найвищі механічні показники, відмінну адгезію до різних поверхонь, низьку усадку при твердінні та виняткову хімічну стійкість.

– є оптимальним вибором для санації трубопроводів питного водопостачання (вимагають відповідних гігієнічних сертифікатів), газопроводів та інших високонавантажених конструкцій.

Крім основних армувальнихих волокон, які формують силовий каркас, та полімерних матриць, що зв'язують їх та захищають, у конструкції сучасних полімерно-композитних оболонок для санації трубопроводів важливими також можуть бути різноманітні допоміжні матеріали та компоненти. Такі елементи можуть не сприймати на себе основні навантаження, але вони суттєво впливають на технологічність виготовлення та монтажу лайнера, його кінцеві експлуатаційні характеристики, довговічність та навіть на безпеку процесу відновлення. До таких компонентів належать захисні плівки, системи контролю полімеризації, а також різноманітні наповнювачі та модифікаційні добавки.

Допоміжні матеріали та компоненти:

a. Внутрішні та зовнішні плівки/покриття: Лайнери, що використовуються, наприклад, у «панчішному» методі, зазвичай оснащені полімерними плівками (з поліпропілену, поліетилену, поліуретану). Зовнішня плівка захищає просочений матеріал під час інсталяції, а внутрішня – формує гладку, хімічно стійку поверхню відновленої труби, покращуючи її гідравлічні характеристики.

b. Системи твердіння (каталізатори, прискорювачі, інгібітори): Це комплекс хімічних добавок, що точно контролюють процес полімеризації смоли, забезпечуючи необхідний час "життя" композиції та повноту твердіння залежно від обраного методу (наприклад, твердіння гарячою водою, парою або УФ-випромінюванням).

c. Наповнювачі та спеціальні добавки: У деяких випадках до складу смоляної композиції можуть вводитися мінеральні наповнювачі для модифікації певних властивостей (наприклад, жорсткості, вогнестійкості) або зниження вартості. Однак для забезпечення високих структурних характеристик лайнера їх використання має бути обмеженим та обґрунтованим.

Ретельний вибір армувальних волокон, полімерних матриць і допоміжних компонентів, заснований на детальному аналізі експлуатаційних умов і вимог до відновлюваного трубопроводу, є основою для забезпечення міцності та довговічності полімерно-композитної оболонки.

2.3 Нанесення цементно-піщаного шару

Одним із традиційних, проте досі актуальних та широко використовуваних методів захисту та відновлення внутрішніх поверхонь трубопроводів, переважно сталевих та чавунних, є нанесення цементно-піщаного покриття (ЦПП). Цей метод полягає у створенні на внутрішній стінці труби суцільного, щільного шару зі спеціально підготовленого цементно-піщаного розчину (рис.2.2), застосовується як на повністю, так і частково зношених трубопроводах [21]. Таке покриття виконує декілька важливих функцій:

- забезпечує ефективний антикорозійний захист металу труби.
- перешкоджає утворенню мінеральних та біологічних утворень, що з часом накопичуються.
- покращує гідравлічні характеристики трубопроводу за рахунок створення більш гладкої внутрішньої поверхні.

– в деяких випадках ЦПП може частково відновлювати структурну цілісність труби та герметизувати дрібні дефекти, такі як пори або невеликі тріщини.

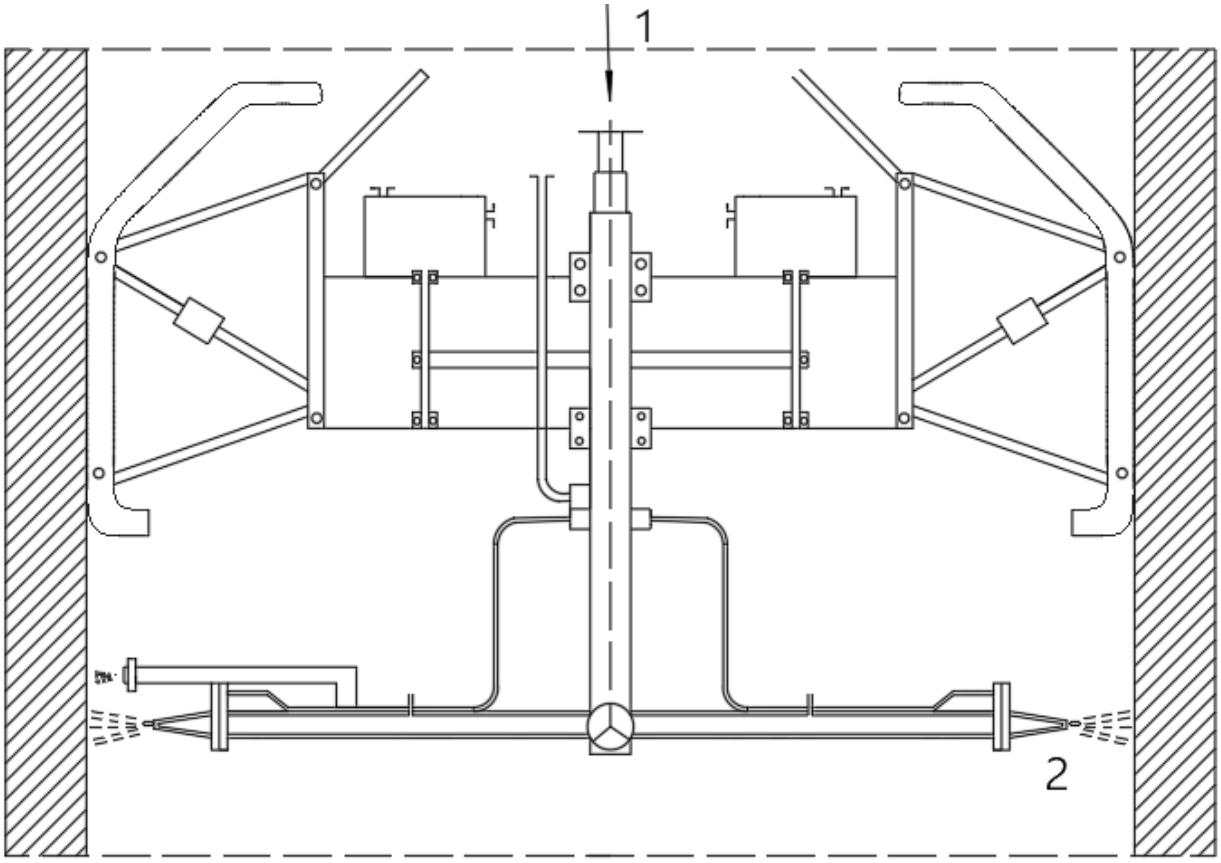


Рисунок 2.2 – Нанесення на внутрішню поверхню відновлювальної ділянки цементно-піщаного шару різної товщини

1 – будівельний матеріал, що ремонтується; 2 – будівельний матеріал, що швидко схоплюється

2.3.1. Принцип дії, склад розчину та галузь застосування

Основний принцип дії цементно-піщаного покриття як ефективного антикорозійного захисту полягає у створенні та підтримці на поверхні металу стабільного лужного середовища, з показником pH близько 12-13. Таке середовище формується за рахунок гідроксиду кальцію ($Ca(OH)_2$), що утворюється в процесі гідратації портландцементу[22].

У лужному середовищі на поверхні сталі або чавуну утворюється дуже тонкий, але щільний пасивний оксидний шар (переважно з оксидів заліза),

який має низьку хімічну активність і значно уповільнює або практично повністю зупиняє електрохімічні процеси корозії металу.

Крім цього хімічного захисту, щільний та непроникний шар цементно-піщаного розчину виступає як надійний фізичний бар'єр. Він обмежує доступ агресивних компонентів, що містяться у транспортованій воді (таких як розчинений кисень, діоксид вуглецю, хлориди, сульфати), до металевої стінки труби, тим самим запобігаючи їх безпосередньому контакту та руйнівній дії.

Галузь застосування цементно-піщаного покриття є досить широкою, охоплюючи переважно металеві трубопроводи.

Насамперед, це стосується магістральних та розподільчих трубопроводів систем питного та господарсько-побутового водопостачання, виготовлених зі сталі або чавуну, включаючи високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧКГ). Внутрішнє цементно-піщане покриття в таких системах дозволяє захистити труби від корозії та зберегти високу якість питної води протягом усього терміну її транспортування, запобігаючи її вторинному забрудненню продуктами корозії (іржею) та утворенню біологічних обростань на стінках.

ЦПП успішно застосовується для захисту трубопроводів технічного водопостачання на промислових підприємствах, різноманітних промислових водоводів та деяких типів каналізаційних мереж, зокрема тих, що транспортують умовно чисті промислові чи побутові стоки.

Якість, експлуатаційні характеристики та довговічність цементно-піщаного покриття залежать від ретельного підбору та властивостей вихідних компонентів розчину, а також їх правильного співвідношення. Основними складовими є цемент, пісок та вода. Для надання розчину та затверділому покриттю специфічних властивостей можуть використовуватися різноманітні хімічні та мінеральні добавки.

Компонент	Призначення
Цемент	В’яжуча речовина, що забезпечує формування цементного каменю
Пісок	Дрібний заповнювач, забезпечує щільність і рівномірність
Вода для замішування	Активація процесів гідратації цементу
Пластифікатори	Зниження водоцементного відношення, покращення укладальності
Прискорювачі тверднення	Підвищення швидкості набору міцності
Повітровтягуючі добавки	Підвищення морозостійкості, зменшення капілярної водопроникності
Полімерні добавки (латекси)	Підвищення адгезії до металу, тріщиностійкості, еластичності покриття
Мікрофібра (армування)	Зменшення усадочних тріщин, покращення ударної міцності
Корозійні інгібітори	Захист арматури або металу трубопроводів

Таблиця 2.1 – Функціональне призначення складових компонентів цементно-піщаного розчину

Співвідношення цементу та піску в розчині зазвичай варіюється в межах від 1:1 до 1:3 за масою або об'ємом. Це відношення визначає міцність, щільність та пористість затверділого покриття; воно має бути мінімально можливим для забезпечення необхідної рухливості розчину (зазвичай це відношення знаходиться в межах 0,35-0,50).

Точні пропорції компонентів розчину підбираються в лабораторних умовах на основі попередніх випробувань вихідних матеріалів та з урахуванням специфічних вимог до покриття.

2.3.2 Технологія нанесення та контроль якості покриття

Процес нанесення внутрішнього цементно-піщаного покриття. Першим кроком є виконання підготовчих робіт: ділянка трубопроводу спорожнюється,

забезпечується доступ до внутрішньої поверхні через котловани або існуючі колодязі, та усуваються грубі перешкоди.

Наступний етап – очищення внутрішньої поверхні труби. Якість очищення впливає на адгезію та довговічність покриття. Внутрішня поверхня має бути максимально очищена від продуктів корозії, старих покриттів, утворень та бруду. Для цього застосовують механічні методи (очисні машини зі щітками, скребками, ріжучими головками), гідродинамічне очищення (струмені води під високим тиском), іноді гідро-абразивне або абразивне струминне очищення для досягнення високого ступеня чистоти та оптимальної шорсткості. Після очищення продукти руйнування видаляються, поверхня знежирюється та знепилюється.

Перед нанесенням покриття та після очищення проводиться детальна внутрішня відеодіагностика трубопроводу. Вона дозволяє оцінити якість очищення та виявити можливі приховані дефекти труби.

Приготування цементно-піщаного розчину зазвичай здійснюється на місці у мобільних установках, що забезпечують точне дозування компонентів та їх ретельне перемішування до отримання однорідної маси заданої консистенції. ЦПП може наноситися як людиною, так і автоматизовано

, все залежить від діаметра труби.

Методи нанесення ЦПП:

- відцентровий метод: спеціальна машина з високошвидкісною обертовою метальною головкою рухається всередині труби, рівномірно розподіляючи розчин відцентровими силами;
- метод набризку: полягає у набризкуванні розчину під тиском через форсунку, що частіше використовується для труб дуже великих діаметрів або локального ремонту;
- метод протягування конусної насадки: для труб малого діаметру, де розчин формується гладилкою;

- після нанесення основного шару може проводитися його додаткове загладжування, мінімальна товщина покриття зазвичай становить 3-12 мм;
- кінці труб та зварні стики (особливо для великих діаметрів) потребують ретельного формування покриття;
- ручне нанесення людиною.

Якісно виконане внутрішнє ЦПП надає відновленому трубопроводу наступні експлуатаційні властивості:

a. Значно покращуються гідравлічні характеристики трубопроводу, оскільки ЦПП створює більш гладку внутрішню поверхню, що призводить до зменшення коефіцієнта гідравлічного тертя та збільшення пропускної здатності або зниження енерговитрат на перекачування.
b. Забезпечується ефективний та довготривалий антикорозійний захист завдяки пасивації металу в лужному середовищі та фізичному бар'єру самого покриття.
c. Гладка поверхня ЦПП та відсутність активної корозії ефективно запобігають утворенню нових мінеральних утворень та біологічних обростань.
d. Хоча ЦПП є переважно захисним, воно може надавати певне невелике збільшення загальної кільцевої жорсткості труби.
e. Цементно-піщаний розчин при нанесенні здатний заповнювати та герметизувати невеликі наскрізні дефекти, зменшуючи витоки води.
f. За умови якісного виконання робіт, розрахунковий термін служби ЦПП може становити 30-50 років і більше, що значно продовжує термін експлуатації трубопроводу.

Для забезпечення високої якості ЦПП необхідний суворий пооперaційний контроль.

Це включає:

- вхідний контроль якості вихідних матеріалів;

- ретельний контроль процесу очищення внутрішньої поверхні труби (відеодіагностикою);
- контроль приготування розчину (дозування, перемішування, консистенція);
- також постійний контроль процесу нанесення покриття (товщина шару, рівномірність, параметри обладнання)

Після повного тверднення покриття проводиться його візуальний огляд на предмет виявлення дефектів, вимірюється фактична товщина, іноді проводяться випробування на адгезію.

Вже після завершення всіх робіт відновлена ділянка піддається промивці, дезінфекції (для питних водопроводів) та гідравлічним випробуванням на міцність та герметичність згідно з ДБН В.2.5-74:2013.

2.4 Спосіб «панчішної» технології

Метод відновлення трубопроводів із застосуванням «панчошної технології», є однією з найпрогресивніших безтраншейних технологій санації. Не зважаючи на прогресивність, ця технологія далеко не нова, вона була винайдена в 1971 році. Найбільш поширеною реалізацією цього принципу є технологія CIPP (Cured-in-Place Pipe – труба, що полімеризується на місці).

Принцип методу CIPP полягає у введенні в існуючий, попередньо підготовлений трубопровід гнучкого рукава(рис.2.3), виготовленого з армувальних волокнистих матеріалів просочених термореактивною полімерною смолою. Після введення рукав щільно притискається до внутрішніх стінок старої труби та піддається процесу полімеризації смоли, розпочатим термічним впливом (гарячою водою, парою) або ультрафіолетовим опроміненням. В результаті формується нова, монолітна, безшовна полімерно-композитна труба, яка відновлює герметичність та може покращувати гідравлічні характеристики ділянки. Сформована труба може бути розрахована як самонесуча конструкція або як оболонка, що працює спільно зі старою трубою.

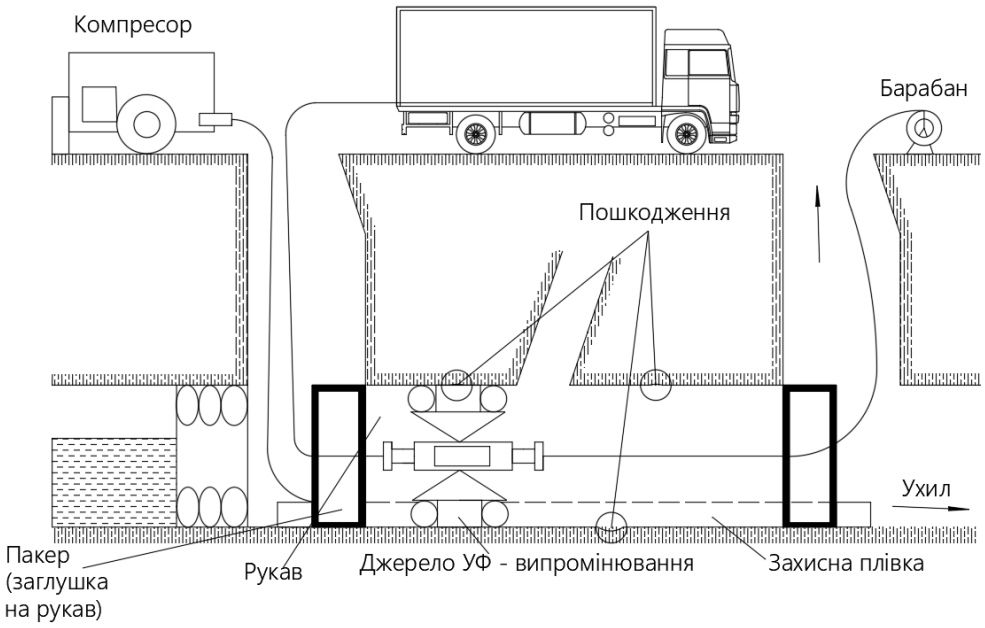


Рисунок 2.3 – Протягування рукава через руйнівний трубопровід

Якість та довговічність відновленого трубопроводу залежить від властивостей матеріалів. Основними компонентами є армуючий волокнистий матеріал та полімерна матриця (термореактивна смола).

Водночас цей метод має гарні екологічні показники, що також є вагомим аргументом на його користь. Термоформовані трубопроводи не містять шкідливих або їдких хімічних речовин і летких органічних сполук, таких як стирол (за винятком поліефірних смол), які можуть бути небезпечними для здоров'я людини та навколишнього середовища [23]. Практично усі сполуки, були визнані безпечними для використання в системах питного водопостачання [23].

2.4.1. Технологія монтажу та полімеризації лайнера

Технологія монтажу CIPP-лайнерів – це багатоетапний процес.

а. Обстеження та очищення: Детальне обстеження трубопроводу за допомогою діагностики та його ретельне очищення від утвоень та перешкод. Використовуються гідродинамічні та механічні методи очищення, а також автоматичні фрези для видалення виступаючих частин.

b. Підготовка лайнера: Він виготовляється за індивідуальними розмірами ділянки та просочується обраною смоляною композицією на спеціальному обладнанні, що забезпечує рівномірність просочення та контроль співвідношення компонентів.

c. Введення лайнера: Здійснюється методом інверсії (вивертання під тиском води або повітря через інверсійний барабан) або методом протягування з наступним роздуттям калібрувального устрою. Тиск інверсії повинен долати тертя та забезпечувати прилягання лайнера до стінок.

d. Полімеризація смоли:

– термічна полімеризація: Використовують циркуляцію гарячої води або подачу пари, підтримуючи необхідну температуру протягом розрахункового часу.

– УФ-полімеризація: Застосовується для спеціальних скловолоконних лайнерів, просочених фотополімерними смолами, і здійснюється за допомогою мобільної УФ-установки (рис. 2.3), яка рухається всередині лайнера з контрольованою швидкістю.

e. Завершальні роботи:

– після завершення полімеризації та контрольованого охолодження (для термічних методів), кінці нової труби обрізаються;

– за допомогою автоматизованих фрез, керованих через TV-камеру, точно відновлюються раніше перекриті бічні підключення;

– місця примикання лайнера до колодязів або кінців старої труби герметизуються спеціальними торцевими ущільнювачами.

Відновлені трубопроводи набувають високої структурної міцності, повної герметичності, покращених гідравлічних характеристик завдяки гладкій внутрішній поверхні, стійкості до корозії та абразивного зносу. Цей метод дозволяє мінімально зменшувати діаметр та відновлювати труби різних форм перерізу та з наявністю вигинів.

2.5 Застосування U-подібного трубопроводу

Використання U-подібних лайнерів є однією з найпоширеніших безтраншейних технологій. Це дозволяє створити, довговічний та структурно міцний поліетиленовий трубопровід всередині існуючої, зношеної труби.

Принцип роботи технології:

a. Спочатку стандартна поліетиленова труба піддається контрольованій механічній деформації.

b. Її круглий поперечний переріз трансформується в U-подібний профіль, що дозволяє значно, на 30-50% і більше, зменшити площу поперечного перерізу труби без пошкодження матеріалу.

c. Наступним кроком є введення деформованого U-подібного лайнера в існуючий трубопровід. Лайнер протягується через стару трубу за допомогою лебідки. Завдяки зменшеному перерізу та гнучкості, U-подібний лайнер легко проходить, мінімізуючи тертя.

d. Після протягування на всю довжину відновлюваної ділянки (рис.2.4), U-подібний лайнер піддається впливу пари та гарячої води, або внутрішнього тиску.

e. Під впливом температури активується так званий «ефект пам'яті форми» поліетилену – матеріал повертається до своєї початкової круглої форми під дією внутрішнього тиску.

f. Після охолодження та стабілізації, відновлений поліетиленовий лайнер утворює суцільну, безшовну в поздовжньому напрямку (зварні шви можливі лише при з'єднанні окремих секцій лайнера перед протягуванням) та герметичну трубу всередині старої конструкції.

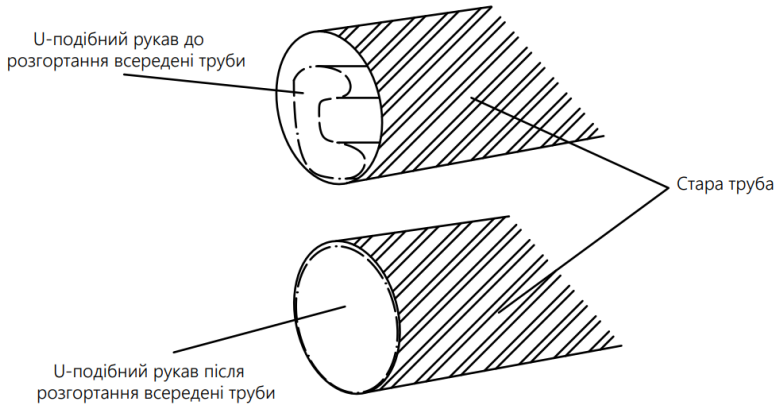


Рисунок 2.4 - Схема U-подібного лайнера

Основою для U-подібних лайнерів слугує поліетилен високої щільності, як і в інших подібних методах, найчастіше використовують марки PE100 та PE100-RC. Ключовою їх здатністю є вміння поліетилену до "пам'яті форми", що дозволяє матеріалу, деформованому в певних умовах, відновлювати свою початкову форму під впливом температури. Ця властивість лежить в основі всієї технології, причому процес деформації в U-профіль здійснюється при температурах, що не викликають незворотних змін у структурі матеріалу. Висока механічна міцність дозволяє відновленому трубопроводу витримувати значні внутрішні робочі тиски та зовнішні навантаження. Гнучкість та еластичність матеріалу важливі як для проходження вигинів існуючого трубопроводу, так і для процесів згортання та розширення. Крім того, поліетилен має високу хімічну стійкість до більшості агресивних середовищ та корозійного впливу ґрунтових вод, а також стійкість до абразивного зносу, що робить його придатним для транспортування середовищ з твердими частинками. Зварюваність поліетилену забезпечує монолітність довгого лайнера при з'єднанні секцій, а низький коефіцієнт шорсткості його гладкої внутрішньої поверхні мінімізує гідравлічні втрати, часто покращуючи пропускну здатність навіть при деякому зменшенні діаметра.

2.5.1 Етапи монтажу U-подібного лайнера

Спочатку, якщо лайнер постачається секціями, вони зварюються на поверхні. До переднього кінця лайнера кріпиться протягувальна головка, і за допомогою лебідки лайнер протягується через стару трубу. Компактна U-подібна форма мінімізує контакт та зусилля протягування, яке постійно контролюється. Після успішного протягування починається процес відновлення круглої форми. Готові елементи лайнера нагріваються до гнучкого стану на робочому місці, потім втягуються в приймальну трубу, де контрольований нагрів і тиск роблять їх ідеально відповідними існуючій стінці труби[24]. У міру охолодження облицювання воно утворює структурне облицювання, яке відновлює трубопровід. Цей процес контролюється за показаннями датчиків. Завершальні операції включають обрізку кінців відновленого трубопроводу та підключення до основної мережі.

РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ ЗМІНИ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ДІЛЯНОК НА РОЗПОДІЛ ТИСКУ В МЕРЕЖАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ

3.1 Вихідні розрахункові схеми мережі

Режим роботи мережі водопостачання в основному залежить від місця розташування водонапірної башти в ній. При умові мінімальної висоти водонапірної башти, розташування її повинно бути на максимально можливій висоті місцевості. Точкою підключення водонапірної башти буде вузол № 3, оскільки там знаходиться найвища точка місцевості. Розрахунковими режимами для схеми є:

- режим максимального водоспоживання;
- режим пожежогасіння при максимальному водоспоживанні.

3.2 Аналіз гідравлічних режимів мережі з урахуванням зміни пропускної здатності ділянок

Мережа водопроводу перебуває в експлуатації певний час та складається з металевих труб.

Аналіз гідравлічних режимів водопровідної мережі з врахуванням зміни пропускної спроможності ділянок виконано за такою методикою:

- визначення первинного потокорозподілу для водопровідної мережі з нових, металевих труб;
- гідравлічний розрахунок мережі з врахуванням прийнятого матеріалу;
- гідравлічний розрахунок мережі з врахуванням зміни пропускної здатності матеріалу труб на «ненові» труби;
- аналіз та прийняття рішень щодо отриманих результатів та необхідності реконструкції мережі;
- рекомендації для підвищення надійності мережі.

3.3 Розрахунок вузлових та шляхових витрат

Для режиму максимального водоспоживання із нових сталевих труб визначаємо шляхові та питомі витрати, вузлові – для кожного з прийнятих розрахункових режимів функціонування водопровідної мережі.

Для режиму пожежогасіння вузлові розрахункові витрати приймаються як для режиму максимального водопостачання при цьому у вузли додаються витрати на пожежогасіння. Ці вузли обираємо з урахуванням здатності мережі передавати додаткові витрати до найвіддаленіших вузлів від точки підключення водоводів насосної станції другого підйому. Отже, додаткові вузлові витрати води на пожежогасіння включаємо до вузлів № 9 та № 25 для промислових підприємств, а також до вузлів № 22 та № 24 для населеного пункту.

Питома витрата при максимальному водоспоживанні для і-го району:

$$q_{пит} = (Q_i - \sum Q_{ci}) \sum l \,, \tag{3.1}$$

де Q_i – повна витрата води, яка відбирається із мережі при максимальному водоспоживанні, л/с;

$\sum Q_{ci}$ – сумарна зосереджена витрата в і-тому районі, л/с;

$\sum l$ – загальна розрахункова довжина магістральних ліній, м.

Результати розрахунків надані в таблиці 3.1

Шляхові витрати води мережі по ділянках:

$$Q_{шл} = q_{удi} * l_n \,, \tag{3.2}$$

де l_n –розрахункова довжина відповідної ділянки, м.

Результати розрахунків шляхових витрат по ділянках мережі надані в таблиці А.2

Питомі витрати води районів населеного пункту при максимальному водоспоживанні надані в таблиці А.1

Вузлові витрати води у разі максимального водоспоживання розраховуються за формулою:

$$Q_{узі} = 0{,}5(\sum Q_n)_{уз}, \quad (3.3)$$

де $(\sum Q_n)_{уз}$ – сума шляхових витрат ділянок, які примикають к і-тому вузлу.

Результати розрахунків вузлових витрат представлені в таблиці А.3.

Водопостачання для промислових підприємств (зосереджені витрати) здійснюється з найближчих вузлів мережі до території кожного підприємства: для підприємства №1 – з вузла №9, а для підприємства №2 – з вузла №25.

3.4 Результати гідравлічного розрахунку мережі

Результати розрахунків шляхових витрат та визначення діаметрів ділянок мережі наведено в таблиці А.4.

Результати гідравлічного розрахунку для режиму максимального водоспоживання для обох варіантів матеріалів трубопроводів наведено на рисунках А.1 та А.2 (додаток А).

Результати розрахунків п’єзометричних позначок у вузлах мережі для режиму максимального водоспоживання для обох варіантів матеріалів трубопроводів наведено в рисунках А.3 та А.4 (додаток А).

3.5 Аналіз п’єзометричних карт та розробка рекомендацій щодо підвищення надійності мережі

Гідравлічний аналіз був проведений для двох випадків: мережа з нових сталевих труб (проєктний стан) та з «ненових» (після тривалого періоду експлуатації). Аналіз дозволив оцінити вплив зносу трубопроводів на надійність водопостачання та обґрунтувати необхідність реконструкції.

Розрахунок для мережі з нових труб показав, що система працює в штатному режимі, забезпечуючи у всіх вузлах вільний напір, що відповідає нормативним вимогам. Це підтверджує коректність початкового проєкту.

У випадку з «неновими» трубами спостерігаються значні зміни. Через старіння, корозію та внутрішні відкладення гідравлічний опір труб значно зріс, що призвело до падіння їхньої пропускної здатності. Аналіз п'єзометричної карти показує значний дефіцит тиску у найвіддаленіших вузлах мережі, зокрема у вузлах №10, 17, 21, 24 та 25, де падіння напору сягає понад 2 метри. Це робить водопостачання цих районів ненадійним. П'єзометричні лінії ілюструють цю деградацію гідравлічного режиму по всій довжині мережі.

Рекомендації щодо підвищення надійності:

Для відновлення та забезпечення стабільного водопостачання та тиску необхідно провести реконструкцію мережі. Замість повної заміни всієї системи мереж, що є економічно невигідним, пропонується поетапний підхід.

a. Пріоритезація робіт: В першу чергу треба реконструювати магістральні ділянки з найбільшим ступенем зносу та найнижчою пропускною здатністю. За розрахунками, це трубопроводи, що живлять 2-й та 3-й райони міста, де найбільший дефіцит тиску. Цей підхід дозволить в короткі терміни отримати ефективний результат
b. Викростання сучасних методів реконструкції: Для виконання робіт можна застосовувати інноваційні безтраншейні технології, які описані в другому розділі. Їх перевагами є мінімальний вплив на міську інфраструктуру, скорочення термінів робіт та висока довговічність відновлених ділянок.

Вибір конкретного методу для кожної ділянки має ґрунтуватися на детальному техніко-економічному обґрунтуванні з урахуванням діаметра, матеріалу та поточного стану трубопроводу.

Впровадження цих заходів дозволить відновити проєктні гідравлічні характеристики мережі, гарантувати стабільний тиск для всіх споживачів, знизити втрати води та підвищити загальну енергоефективність і надійність системи водопостачання.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз сучасного стану інженерних мереж транспортування води, в результаті якого виявлено основні причини їхньої деградації: фізична зношеність трубопроводів, корозійні процеси, а також дефекти запірної арматури, стиків та фасонних частин. Встановлено, що значна частка втрат води виникає через невиявлені (приховані) витоки, зокрема дифузні протікання через стінки труб та локальні свищі, які складно виявити традиційними методами візуального огляду.
2. Розглянуто та проаналізовано сучасні інноваційні методи реконструкції інженерних мереж, серед яких: метод «труба в трубі» (релайнінг), нанесення цементно-піщаних покриттів, використання полімерно-композитних оболонок («панчішна» технологія CIPP) та застосування U-подібних трубопроводів. Встановлено, що застосування цих безтраншейних технологій дозволяє значно скоротити час реконструкції, зменшити фінансові витрати та мінімізувати негативний вплив на міську інфраструктуру порівняно з традиційним відкритим методом заміни труб.
3. Виконано гідравлічний розрахунок водопровідної мережі для двох варіантів: для нових та для зношених сталевих трубопроводів. Розрахунок підтвердив, що тривала експлуатація призводить до суттєвого зростання гідравлічного опору та падіння пропускної здатності ділянок. Аналіз п'єзометричних карт показав, що у зношеній мережі виникає значний дефіцит тиску (понад 2 метри) у найвіддаленіших вузлах, що свідчить про низьку надійність системи та невідповідність нормативним вимогам.
4. На основі отриманих результатів обґрунтовано необхідність реконструкції досліджуваної мережі. Запропоновано поетапний підхід, що передбачає пріоритетне відновлення магістральних ділянок з найбільшим ступенем зносу, які живлять райони з найбільшим дефіцитом тиску. Такий підхід дозволить досягти максимального ефекту в короткі терміни та при раціональному використанні ресурсів

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Причини виникнення витоків води в квартирах і будинках. *Leak*. URL: https://leak.com.ua/blog/prichiny-vozniknoveniya-utechek-vody-v-kvartirah-i-domah (дата звернення: 10.04.2025)

2. Як знайти та усунути прихований витік води: експертний гід з пошуку та діагностики. *Стройка 2001*. URL: https://stroyka2001.kh.ua/kak-najti-i-ustranit-skrytuyu-utechku-vody-ekspertnyj-gid-po-poisku-i-diagnostike/ (дата звернення: 10.04.2025).

3. Water Overview. *The World Bank*. URL:https://www.worldbank.org/en/topic/water/overview (дата звернення: 10.04.2025).

4. Про затвердження Порядку розроблення та затвердження технологічних нормативів використання питної води : Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 25.06.2014 р. № 179. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1063-14#Text (дата звернення: 13.04.2025).

5. ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012. Настанова з будівництва, монтажу та контролю якості трубопроводів зовнішніх мереж водопостачання та каналізації. [Чинний від 2013–10–01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 68 с.

6. Корозія матеріалів. Модуль 2. *Профосвіта*. URL: https://profosvita.online/courses/course-v1:Profosvita+CS-K011SFPL+2024/courseware/d8a4e383c79b4cdebc6519ca9a4aeca3/8ee5388d1e7d4ad4bfca83ba8ffd62f3/?activate_block_id=block-v1%3AProfosvita%2BCS-K011SFPL%2B2024%2Btype%40sequential%2Bblock%408ee5388d1e7d4ad4bfca83ba8ffd62f3 (дата звернення: 13.04.2025).

7. The Corrosion Analysis Of Direct Burial Steel Pipe. *World Iron & Steel*. URL: http://ua.worldironsteel.com/news/the-corrosion-analysis-of-direct-burial-steel-31544389.html (дата звернення: 14.04.2025).

8. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні

положення проектування. [Чинний від 2019–01–02]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 147 с.

9. Гідравлічний удар. *Aqua-Climate*. URL: https://aqua-climate.com.ua/ua/stati/gidravlicheskij_udar?utm_source=chatgpt.com (дата звернення:18.04.2025)

10. Гідроудари в трубопроводі - що це і як із ними боротися. *Armax*. URL: https://armax.ua/ua/blog/gidroudary-v-truboprovodi-sho-ce-i-yak-iz-nymy-borotysya/?srsltid=AfmBOopYpS8piWIuebRY0CDnyrc3S1aVPAl6ILPSrOscMRJIy5KcFps7 (дата звернення:18.04.2025)

11. Munoz-Trochez C., Smout I. K., Kayaga S. M. Incorporating energy use into the economic level of Leakage Model. *World Wide Workshop for Young Environmental Scientists* : author manuscript (Arcueil, France, 2010). Arcueil, 2010. URL: https://www.researchgate.net/publication/46419700 (дата звернення: 20.04. 2025).

12. Kulkarni A. Modeling District Metered Areas (DMAs). *Bentley Communities*. URL: https://bentleysystems.service- now.com/community?id=kb_article_view&sysparm_article=KB0014093 (дата звернення: 18.04.2025).

13. IWA Water Loss Specialist Group Position Statement. *IWA Network*. March 2022. URL: https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2022/03/IWA-Water-Loss-SG-position-statement-March-2022-1.pdf (дата звернення: 19.04.2025).

14. Мікробіологічна корозія нержавіючої сталі. *UKIRS*. URL: https://ukirs.com.ua/%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F/%D0%BC%D1%96%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B0-%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B7%D1%96%D1%8F-%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B6%D0%B0%D0%B2%D1%96%D1%8E%D1%87%D0%BE%D1%97-%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%96 (дата звернення: 19.04.2025).

15. Пітінгова корозія. *Вікіпедія*. URL:https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%96%D1%82%D1%96%D0%BD%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D0%B0_

%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B7%D1%96%D1%8F (дата звернення: 20.04.2025).

16. Як правильно вибрати кореляційний течошукач? URL: https://dtruba.jimdofree.com/%D1%8F%D0%BA-%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE-%D0%B2%D0%B8%D0%B1%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8-%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%8F%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D1%82%D0%B5%D1%87%D0%BE%D1%88%D1%83%D0%BA%D0%B0%D1%87/ (дата звернення: 21.04.2025).

17. Trubolab: Пошук витоку води. URL: https://trubolab.com.ua/ (дата звернення: 21.04.2025).

18. What is Water Loss Prevention? *FIDO Tech*. URL:https://fido.tech/news/what-is-water-loss-prevention/ (дата звернення:22.04.2025).

19. Nodig. What is Sliplining?. URL: https://nodig.com/blog/what-is-sliplining (дата звернення: 10.05.2025).

20. NASSCO. Tech Tip: Cured-in-Place Pipe (CIPP) Installation and Inspection. URL: https://www.nassco.org/wp-content/uploads/2021/02/NASSCO-NOV2020-Tech-Tip-CIPP.pdf (дата звернення: 11.05.2025).

21. Tushar M. H. K., Anam I., Das A. Editorial: Innovative and sustainable technologies for water and wastewater treatment. *Frontiers in Water*. 2022. Vol. 4, 904821. URL:https://www.frontiersin.org/journals/water/articles/10.3389/frwa.2022.904821/full (дата звернення: 12.05.2025).

22. Bell G. E. C., Giamberini M. J. S., Lédion J. F. R. L., Basalo C. L., Herve J. P. Cement mortar linings in cast and ductile iron pipes: Life expectancy and dependence upon water chemistry. *ResearchGate*. URL: https://www.researchgate.net/publication/289000414_Cement_mortar_linings_in_cast_and_ductile_iron_pipes_Life_expectancy_and_dependence_upon_water_chemistry (дата звернення: 12.05.2025).

23. Advanced Septic and Pipelining. Folded and Formed Plastic Pipe Liner Solution. URL: https://www.asoepiperelining.com/folded-and-formed-plastic-pipe-liner-solution/ (дата звернення: 13.05.2025).

24. AY Trenchless. This isn't pipe repair. It's a time machine for your pipes. URL: https://www.ay-trenchless.com/news/this-isn-t-pipe-repair-it-s-a-time-machine-f-84985374.html (дата звернення:15.05.2025).

25. Hilti. Що таке корозія і як захистити від неї. URL: https://www.hilti.ua/engineering/article/%D1%89%D0%BE-%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%B5-%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B7%D1%96%D1%8F-%D1%96-%D1%8F%D0%BA-%D0%B7%D0%B0%D1%85%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%82%D0%B8-%D0%B2%D1%96%D0%B4-%D0%BD%D0%B5%D1%97/anbjwq (дата звернення: 15.05.2025).

26. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ: Мінрегіонбуд України, 2013.

27. ДСТУ-Н Б В.2.5-40:2009. Проектування та монтаж мереж водопостачання та каналізації з пластикових труб. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010.

28. ДСТУ Б В.2.7-151:2008. Труби поліетиленові для подачі холодної води. Технічні умови. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009.

29. ДСТУ Б В.2.7-73-98. Труби поліетиленові для подачі горючих газів. Технічні умови. Київ: Держбуд України, 1998.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 - Питомі витрати води районів населеного пункту при максимальному водоспоживанні

№ р-ну	Витрата, Q, л/с	Загальна довжина трубопроводів, Σl_i, м	Питома витрата води на 1 м трубопроводу, $q_{пит.i}$, л/с*м
I	195,83	4180	0,0468
II	645,00	7060	0,0914
III	245,00	6080	0,0403
Всього	1085,83	17320	

Таблиця А.2 – Результати розрахунків шляхових витрат по ділянках мережі для режиму максимального водоспоживання

№ ділянки	Довжина ділянки, м	Питома витрата, л/с·м	Шляхова витрата, л/с
1-2	500	0,0403	20,15
1-5	380	0,0403	15,31
2-6	600	0,0403	24,18
5-6	400	0,0403	16,12
2-3	180	0,0403	7,25
3-7	500	0,0403	20,15
6-7	500	0,0403	20,15
3-4	200	0,0403	8,06
4-8	150	0,0403	6,04
7-8	560	0,0403	22,57
8-9	140	0,0403	5,64
5-10	160	0,0403	6,45
6-11	400	0,0403	16,12
7-12	400	0,0403	16,12
9-13	200	0,0403	8,06
10-11	250	0,0403	32,91
	250	0,0914	
11-12	160	0,0403	21,06
	160	0,0914	

продовження табл.А.2

№ ділянки	Довжина ділянки, м	Питома витрата, л/с·м	Шляхова витрата, л/с
12-13	400	0,0403	52,66
	400	0,0914	
10-14	300	0,0914	27,41
14-15	440	0,0914	40,20
11-15	600	0,0914	54,82
15-16	420	0,0914	38,37
12-16	840	0,0914	76,74
16-17	800	0,0914	73,09
13-17	400	0,0914	36,54
14-18	250	0,0914	22,84
15-19	600	0,0914	54,82
16-20	500	0,0914	45,68
17-21	430	0,0914	39,28
18-19	210	0,0914	29,02
	210	0,0468	
19-20	150	0,0914	20,73
	150	0,0468	
20-21	310	0,0914	42,84
	310	0,0468	
18-22	260	0,0468	12,18
22-23	310	0,0468	14,52
19-23	1000	0,0468	46,85
23-24	350	0,0468	16,40
20-24	960	0,0468	44,97
24-25	200	0,0468	9,37
21-25	430	0,0468	20,14
Всього	17320		1085,83

Таблиця А.3 – Результати розрахунків вузлових витрат води

№№ вузлів	№№ ділянок	(Qшл)вуз., л/с	Максимальне водоспоживання Qвуз., л/с
1	1-2	20,15	17,73
	1-5	15,31	
2	1-2	20,15	25,79
	2-6	24,18	
	2-3	7,25	
3	2-3	7,25	17,73
	3-4	8,06	
	3-7	20,15	
4	3-4	8,06	7,05
	4-8	6,04	
5	1-5	15,31	18,94
	5-6	16,12	
	5-10	6,45	
6	5-6	16,12	38,28
	2-6	24,18	
	6-7	20,15	
	6-11	16,12	
7	3-7	20,15	39,49
	6-7	20,15	
	7-8	22,57	
	7-12	16,12	
8	4-8	6,04	17,13
	7-8	22,57	
	8-9	5,64	
9	8-9	5,64	6,85
	9-13	8,06	
10	5-10	6,45	33,38
	10-14	27,41	
	10-11	32,91	
11	6-11	16,12	62,46
	10-11	32,91	
	11-12	21,06	
	11-15	54,82	

продовження табл. А.3

№№ вузлів	№№ ділянок	(Qшл)вуз., л/с	Максимальне водоспоживання Qвуз., л/с
12	7-12	16,12	83,29
	11-12	21,06	
	12-16	76,74	
	12-13	52,66	
13	9-13	8,06	48,63
	12-13	52,66	
	13-17	36,54	
14	10-14	27,41	45,22
	14-15	40,20	
	14-18	22,84	
15	14-15	40,20	94,10
	11-15	54,82	
	15-16	38,37	
	15-19	54,82	
16	12-16	76,74	116,94
	15-16	38,37	
	16-20	45,68	
	16-17	73,09	
17	13-17	36,54	74,46
	16-17	73,09	
	17-21	39,28	
18	14-18	22,84	32,02
	18-22	12,18	
	18-19	29,02	
19	18-19	29,02	75,71
	15-19	54,82	
	19-23	46,85	
	19-20	20,73	
20	19-20	20,73	77,12
	16-20	45,68	
	20-24	44,98	
	20-21	42,85	
21	17-21	39,28	51,14
	20-21	42,85	
	21-25	20,15	
22	18-22	12,18	13,35
	22-23	14,52	
23	22-23	14,5235	38,89
	19-23	46,8501	
	23-24	16,3975	

продовження табл. А.3

№№ вузлів	№№ ділянок	(Qшл)вуз., л/с	максимальне водоспоживання Qвуз., л/с
24	23-24	16,40	35,37
	20-24	44,98	
	24-25	9,37	
25	21-25	20,15	14,76
	24-25	9,37	
Всього			1085,83

Таблиця А.4 – Результати розрахунків діаметрів ділянок мережі М2

№ ділянки	Шляхова витрата, л/с	Приведена шляхова витрата, л/с	Діаметр за почат. потоко-розділом, мм	Швидкість руху води, м/с	Довжина ділянки, м
1-2	70,50	69,04	250,0	1,44	500
2-6	369,50	361,86	600,0	1,31	600
5-6	30,00	29,38	200,0	0,96	400
1-5	52,80	51,71	200,0	1,68	760
2-3	465,80	456,17	700,0	1,21	360
3-7	684,10	669,95	800,0	1,36	500
6-7	100,00	97,93	350,0	1,04	600
3-4	127,50	124,86	350,0	1,33	400
4-8	120,50	118,01	350,0	1,25	300
7-8	100,00	97,93	350,0	1,04	560
5-10	63,90	62,58	200,0	2,04	320
10-11	30,00	29,38	200,0	0,96	500
6-11	401,20	392,90	600,0	1,42	400
11-12	100,00	97,93	350,0	1,04	320
7-12	444,60	435,40	700,0	1,16	400
12-13	50,00	48,97	250,0	1,02	800
8-9	200,40	196,26	450,0	1,26	260
9-13	126,50	123,88	350,0	1,32	400
10-14	60,50	59,25	200,0	1,93	600

продовження табл. А.4

№ ділянки	Шляхова витрата, л/с	Приведена шляхова витрата, л/с	Діаметр за почат. потоко-розділом, мм	Швидкість руху води, м/с	Довжина ділянки, м
14-15	30,00	29,38	250,0	0,61	440
11-15	408,70	400,25	600,0	1,45	600
15-16	70,00	68,55	300,0	0,99	420
12-16	211,30	206,93	450,0	1,33	840
16-17	50,00	48,97	250,0	1,02	800
13-17	127,90	125,25	350,0	1,33	800
14-18	40,00	39,17	200,0	1,27	500
18-19	30,00	29,38	250,0	0,61	420
15-19	214,60	210,16	450,0	1,35	600
19-20	60,00	58,76	250,0	1,22	300
16-20	114,40	112,03	400,0	0,91	500
20-21	50,00	48,97	300,0	0,71	620
17-21	103,40	101,26	350,0	1,08	860
18-22	43,30	42,40	250,0	0,88	520
22-23	30,00	29,38	200,0	0,96	620
19-23	48,90	47,89	200,0	1,56	1000
23-24	40,00	39,17	200,0	1,27	700
20-24	47,20	46,22	300,0	0,67	960
24-25	51,80	50,73	300,0	0,73	400
21-25	102,30	100,18	350,0	1,06	860

Таблиця А.5 – Результати ув’язки водопровідної мережі М2 для режиму максимального водоспоживання (ділянки із нових сталевих труб)

N Кільця	Ділянка	Довжина, м	Витрата, л/с	Діаметр, мм	Матеріал труб	Швидкість, м/с	h, м	Економ. фактор
1	2-1	500.00	42.101	250	Сталь . є / с. нові	0.79	-1.50	---
	2-6	600.00	313.389	500	Сталь . є / с. нові	1.50	2.68	---
	6-5	400.00	24.087	200	Сталь . є / с. нові	0.70	1.24	---
	1-5	760.00	24.401	200	Сталь . є / с. нові	0.70	-2.41	---
						Нев'язка:	0.001	
2	3-2	360.00	381.290	700	Сталь . є / с. нові	0.97	-0.48	---
	3-7	500.00	772.566	800	Сталь . є / с. нові	1.52	1.33	---
	7-6	600.00	101.390	350	Сталь . є / с. нові	0.98	1.82	---
	2-6	600.00	313.389	500	Сталь . є / с. нові	1.50	-2.68	---
						Нев'язка:	0.001	
3	3-4	400.00	123.544	350	Сталь . є / с. нові	1.19	1.77	---
	4-8	300.00	116.544	350	Сталь . є / с. нові	1.13	1.19	---
	7-8	560.00	99.062	350	Сталь . є / с. нові	0.96	-1.63	---
	3-7	500.00	772.566	800	Сталь . є / с. нові	1.52	-1.33	---
						Нев'язка:	0.001	
4	6-5	400.00	24.087	200	Сталь . є / с. нові	0.70	-1.24	---
	6-11	400.00	352.392	600	Сталь . є / с. нові	1.18	0.91	---
	11-10	500.00	26.037	200	Сталь . є / с. нові	0.75	1.80	---
	5-10	320.00	29.588	200	Сталь . є / с. нові	0.85	-1.46	---
						Нев'язка:	0.001	
5	7-6	600.00	101.390	350	Сталь . є / с. нові	0.98	1.82	---
	6-11	400.00	352.392	600	Сталь . є / с. нові	1.18	0.91	---
	12-11	320.00	136.890	350	Сталь . є / с. нові	1.32	-1.73	---
	7-12	400.00	532.615	700	Сталь . є / с. нові	1.36	-1.01	---
						Нев'язка:	-0.003	
6	7-8	560.00	99.062	350	Сталь . є / с. нові	0.96	-1.63	---
	7-12	400.00	532.615	700	Сталь . є / с. нові	1.36	1.01	---
	12-13	800.00	48.523	250	Сталь . є / с. нові	0.91	3.14	---
	9-13	400.00	121.605	350	Сталь . є / с. нові	1.18	-1.72	---
	8-9	260.00	198.505	450	Сталь . є / с. нові	1.16	-0.81	---
						Нев'язка:	-0.004	
7	11-10	500.00	26.037	200	Сталь . є / с. нові	0.75	1.80	---
	10-14	600.00	22.225	200	Сталь . є / с. нові	0.64	1.60	---
	15-14	440.00	47.328	250	Сталь . є / с. нові	0.88	-1.65	---
	11-15	600.00	400.745	600	Сталь . є / с. нові	1.34	-1.75	---
						Нев'язка:	-0.002	
8	12-11	320.00	136.890	350	Сталь . є / с. нові	1.32	1.73	---
	11-15	600.00	400.745	600	Сталь . є / с. нові	1.34	1.75	---
	15-16	420.00	60.436	300	Сталь . є / с. нові	0.80	1.04	---
	12-16	840.00	263.902	450	Сталь . є / с. нові	1.55	-4.52	---
						Нев'язка:	-0.003	
9	12-13	800.00	48.523	250	Сталь . є / с. нові	0.91	-3.14	---
	12-16	840.00	263.902	450	Сталь . є / с. нові	1.55	4.52	---
	16-17	800.00	38.776	250	Сталь . є / с. нові	0.72	2.05	---
	13-17	800.00	121.528	350	Сталь . є / с. нові	1.17	-3.44	---
						Нев'язка:	-0.009	

\

продовження табл. А.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	15-14	440.00	47.328	250	Сталь . є / с. нові	0.88	1.65	---
	14-18	500.00	24.353	200	Сталь . є / с. нові	0.70	1.58	---
	19-18	420.00	43.846	250	Сталь . є / с. нові	0.82	-1.36	---
	15-19	600.00	198.881	450	Сталь . є / с. нові	1.17	-1.87	---
						Нев'язка	-0.001	
11	15-16	420.00	60.436	300	Сталь . є / с. нові	0.80	-1.04	---
	15-19	600.00	198.881	450	Сталь . є / с. нові	1.17	1.87	---
	19-20	300.00	50.751	250	Сталь . є / с. нові	0.95	1.28	---
	16-20	500.00	168.662	400	Сталь . є / с. нові	1.27	-2.12	---
						Нев'язка	-0.003	
12	16-17	800.00	38.776	250	Сталь . є / с. нові	0.72	-2.05	---
	16-20	500.00	168.662	400	Сталь . є / с. нові	1.27	2.12	---
	20-21	620.00	66.379	300	Сталь . є / с. нові	0.87	1.83	---
	17-21	860.00	85.805	350	Сталь . є / с. нові	0.83	-1.90	---
						Нев'язка	-0.004	
13	19-18	420.00	43.846	250	Сталь . є / с. нові	0.82	1.36	---
	18-22	520.00	36.199	250	Сталь . є / с. нові	0.68	1.17	---
	22-23	620.00	22.899	200	Сталь . є / с. нові	0.66	1.75	---
	19-23	1000.00	28.583	200	Сталь . є / с. нові	0.83	-4.29	---
						Нев'язка	-0.006	
14	19-20	300.00	50.751	250	Сталь . є / с. нові	0.95	-1.28	---
	19-23	1000.00	28.583	200	Сталь . є / с. нові	0.83	4.29	---
	23-24	700.00	12.582	200	Сталь . є / с. нові	0.36	0.64	---
	20-24	960.00	75.834	300	Сталь . є / с. нові	1.00	-3.65	---
						Нев'язка	-0.005	
15	20-21	620.00	66.379	300	Сталь . є / с. нові	0.87	-1.83	---
	20-24	960.00	75.834	300	Сталь . є / с. нові	1.00	3.65	---
	24-25	400.00	53.016	300	Сталь . є / с. нові	0.70	0.77	---
	21-25	860.00	101.084	350	Сталь . є / с. нові	0.98	-2.60	---
						Нев'язка	-0.003	

Таблиця А.6 – Результати ув’язки водопровідної мережі М2 для режиму максимального водоспоживання (ділянки із ненових сталевих труб)

N Кільця	Ділянка	Довжина, м	Витрата, л/с	Діаметр, мм	Матеріал труб	Швидкість, м/с	h, м	Економ. фактор
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2-1	500.00	41.112	250	Сталь . є / с. ненов.	0.77	-1.97	---
	2-6	600.00	313.764	500	Сталь . є / с. ненов.	1.50	3.42	---
	6-5	400.00	23.821	200	Сталь . є / с. ненов.	0.69	1.72	---
	1-5	760.00	23.412	200	Сталь . є / с. ненов.	0.68	-3.16	---
						Нев'язка:	0.001	
2	3-2	360.00	380.676	700	Сталь . є / с. ненов.	0.97	-0.59	---
	3-7	500.00	773.440	800	Сталь . є / с. ненов.	1.52	1.65	---
	7-6	600.00	101.131	350	Сталь . є / с. ненов.	0.98	2.36	---
	2-6	600.00	313.764	500	Сталь . є / с. ненов.	1.50	-3.42	---
						Нев'язка:	0.001	
3	3-4	400.00	123.284	350	Сталь . є / с. ненов.	1.19	2.28	---
	4-8	300.00	116.284	350	Сталь . є / с. ненов.	1.12	1.53	---
	7-8	560.00	100.010	350	Сталь . є / с. ненов.	0.97	-2.16	---
	3-7	500.00	773.440	800	Сталь . є / с. ненов.	1.52	-1.65	---
						Нев'язка:	0.001	
4	6-5	400.00	23.821	200	Сталь . є / с. ненов.	0.69	-1.72	---

продовження табл. А.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	6-11	400.00	352.774	600	Сталь. є / с. ненов.	1.18	1.13	---
	11-10	500.00	25.750	200	Сталь. є / с. ненов.	0.75	2.47	---
	5-10	320.00	28.332	200	Сталь. є / с. ненов.	0.83	-1.89	---
						Нев'язка:	0.001	
5	7-6	600.00	101.131	350	Сталь. є / с. ненов.	0.98	2.36	---
	6-11	400.00	352.774	600	Сталь. є / с. ненов.	1.18	1.13	---
	12-11	320.00	137.185	350	Сталь. є / с. ненов.	1.33	-2.25	---
	7-12	400.00	532.800	700	Сталь. є / с. ненов.	1.36	-1.25	---
						Нев'язка:	-0.002	
6	7-8	560.00	100.010	350	Сталь. є / с. ненов.	0.97	-2.16	---
	7-12	400.00	532.800	700	Сталь. є / с. ненов.	1.36	1.25	---
	12-13	800.00	47.857	250	Сталь. є / с. ненов.	0.90	4.18	---
	9-13	400.00	122.293	350	Сталь. є / с. ненов.	1.18	-2.24	---
	8-9	260.00	199.193	450	Сталь. є / с. ненов.	1.17	-1.03	---
						Нев'язка:	-0.004	
7	11-10	500.00	25.750	200	Сталь. є / с. ненов.	0.75	2.47	---
	10-14	600.00	20.682	200	Сталь. є / с. ненов.	0.60	1.99	---
	15-14	440.00	47.577	250	Сталь. є / с. ненов.	0.90	-2.27	---
	11-15	600.00	401.709	600	Сталь. є / с. ненов.	1.35	-2.19	---
						Нев'язка:	-0.002	
8	12-11	320.00	137.185	350	Сталь. є / с. ненов.	1.33	2.25	---
	11-15	600.00	401.709	600	Сталь. є / с. ненов.	1.35	2.19	---
	15-16	420.00	60.728	300	Сталь. є / с. ненов.	0.80	1.39	---
	12-16	840.00	264.458	450	Сталь. є / с. ненов.	1.55	-5.83	---
						Нев'язка:	-0.003	
9	12-13	800.00	47.857	250	Сталь. є / с. ненов.	0.90	-4.18	---
	12-16	840.00	264.458	450	Сталь. є / с. ненов.	1.55	5.83	---
	16-17	800.00	38.318	250	Сталь. є / с. ненов.	0.72	2.77	---
	13-17	800.00	121.550	350	Сталь. є / с. ненов.	1.17	-4.43	---
						Нев'язка:	-0.008	
10	15-14	440.00	47.577	250	Сталь. є / с. ненов.	0.90	2.27	---
	14-18	500.00	23.059	200	Сталь. є / с. ненов.	0.67	2.02	---
	19-18	420.00	44.465	250	Сталь. є / с. ненов.	0.84	-1.92	---
	15-19	600.00	199.305	450	Сталь. є / с. ненов.	1.17	-2.38	---
						Нев'язка:	-0.002	
11	15-16	420.00	60.728	300	Сталь. є / с. ненов.	0.80	-1.39	---
	15-19	600.00	199.305	450	Сталь. є / с. ненов.	1.17	2.38	---
	19-20	300.00	50.990	250	Сталь. є / с. ненов.	0.96	1.76	---
	16-20	500.00	169.969	400	Сталь. є / с. ненов.	1.27	-2.75	---
						Нев'язка:	-0.003	
12	16-17	800.00	38.318	250	Сталь. є / с. ненов.	0.72	-2.77	---
	16-20	500.00	169.969	400	Сталь. є / с. ненов.	1.27	2.75	---
	20-21	620.00	67.303	300	Сталь. є / с. ненов.	0.89	2.49	---
	17-21	860.00	85.368	350	Сталь. є / с. ненов.	0.82	-2.47	---
						Нев'язка:	-0.005	
13	19-18	420.00	44.465	250	Сталь. є / с. ненов.	0.84	1.92	---
	18-22	520.00	35.524	250	Сталь. є / с. ненов.	0.67	1.57	---
	22-23	620.00	22.224	200	Сталь. є / с. ненов.	0.65	2.34	---
	19-23	1000.00	28.149	200	Сталь. є / с. ненов.	0.82	-5.83	---
						Нев'язка:	-0.005	
14	19-20	300.00	50.990	250	Сталь. є / с. ненов.	0.96	-1.76	---
	19-23	1000.00	28.149	200	Сталь. є / с. ненов.	0.82	5.83	---
	23-24	700.00	11.473	200	Сталь. є / с. ненов.	0.33	0.80	---
	20-24	960.00	76.456	300	Сталь. є / с. ненов.	1.01	-4.88	---
						Нев'язка:	-0.006	

продовження табл. А.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
15	20-21	620.00	67.303	300	Сталь. є / с. ненов.	0.89	-2.49	---
	20-24	960.00	76.456	300	Сталь. є / с. ненов.	1.01	4.88	---
	24-25	400.00	52.529	300	Сталь. є / с. ненов.	0.69	1.02	---
	21-25	860.00	101.571	350	Сталь. є / с. ненов.	0.98	-3.41	---
						Нев'язка	-0.003	

Таблиця А.7 – Визначення п’єзометричних позначок у вузлах мережі М1 для режиму максимального водоспоживання (ділянки із нових сталевих труб)

Вихідний вузол		Розглянутий вузол					Необхідний напір, м
Номер вузла	П’єзом. позначка	Номер вузла	Втрати напору на ділянці між вузлами, м	П’єзом. позначка	Позначка поверхні землі	Вільний напір, м	
10	119,50	1	3,87	123,37	80,00	43,37	34,00
		2	5,38	124,88	80,00	44,88	34,00
		3	5,85	125,35	75,00	**50,35**	34,00
		4	4,08	123,58	71,00	52,58	34,00
		5	1,46	120,96	80,00	40,96	34,00
		6	2,70	122,20	79,00	43,20	34,00
		7	4,52	124,02	77,50	46,52	34,00
		8	2,89	122,39	75,00	47,39	34,00
		9	2,09	121,59	70,00	51,59	34,00
		10 н.т.	0,00	119,50	77,50	42,00	42,00
		11	1,79	121,29	77,50	43,79	42,00
		12	3,51	123,01	77,50	45,51	42,00
		13	0,37	119,87	73,00	46,87	42,00
		14	-1,60	117,90	73,00	44,90	42,00
		15	0,04	119,54	74,00	45,54	42,00
		16	-1,00	118,50	73,00	45,50	42,00
		17	-3,07	116,43	74,00	42,43	42,00
		18	-3,19	116,31	70,00	46,31	42,00
		19	-1,83	117,67	71,00	46,67	42,00
		20	-3,12	116,38	71,50	44,88	42,00
		21	-4,97	114,53	71,50	43,03	42,00
		22	-4,36	115,14	66,00	49,14	42,00
		23	-6,12	113,38	66,00	47,38	42,00
		24	-6,78	112,72	67,00	45,72	42,00
		25	-7,56	111,94	67,00	44,94	42,00

Таблиця А.8 – Визначення п’єзометричних позначок у вузлах мережі М1 для режима максимального водоспоживання (із ненових сталевих труб)

Вихідний вузол		Розглянутий вузол							Необхідний напір, Н необх., м
Номер вузла	П’єзом. Позначка, м	Номер вузла	Втрати напору на ділянці між вузлами, м	П’єзом. позначка, м (гідравлічний. розрахунок)	Позначка поверхні землі, м	Вільний напір (гідравліч. розрахунок)	Фактичний вільний напір, Нвіл.ф.	Різниця Нвіл.ф. - Н необх., м	
3	127,51	1	-2,56	124,95	80,00	44,95	42,79	8,79	34,00
		2	-0,59	126,92	80,00	46,92	44,76	10,76	34,00
		3	0,00	127,51	75,00	52,51	**50,35**	16,35	34,00
		4	-2,27	125,24	71,00	54,24	52,08	18,08	34,00
		5	-5,72	121,79	80,00	41,79	39,63	5,63	34,00
		6	-4,01	123,50	79,00	44,50	42,34	8,34	34,00
		7	-1,65	125,86	77,50	48,36	46,20	12,20	34,00
		8	-3,80	123,71	75,00	48,71	46,55	12,55	34,00
		9	-4,83	122,68	70,00	52,68	50,52	16,52	34,00
		10	-7,61	119,90	77,50	42,40	40,24	-1,76	42,00
		11	-5,14	122,37	77,50	44,87	42,71	0,71	42,00
		12	-2,89	124,62	77,50	47,12	44,96	2,96	42,00
		13	-7,07	120,44	73,00	47,44	45,28	3,28	42,00
		14	-9,60	117,91	73,00	44,91	42,75	0,75	42,00
		15	-7,33	120,18	74,00	46,18	44,02	2,02	42,00
		16	-8,72	118,79	73,00	45,79	43,63	1,63	42,00
		17 н.т.	-11,51	116,00	74,00	42,00	39,84	-2,16	42,00
		18	-11,62	115,89	70,00	45,89	43,73	1,73	42,00
		19	-9,71	117,80	71,00	46,80	44,64	2,64	42,00
		20	-11,48	116,03	71,50	44,53	42,37	0,37	42,00
		21	-13,98	113,53	71,50	42,03	39,87	-2,13	42,00
		22	-13,19	114,32	66,00	48,32	46,16	4,16	42,00
		23	-15,54	111,97	66,00	45,97	43,81	1,81	42,00
		24	-16,36	111,15	67,00	44,15	41,99	-0,01	42,00
		25	-17,39	110,12	67,00	43,12	40,96	-1,04	42,00